

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR



FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN REDES DE COMUNICACIÓN

INFORME FINAL CASO DE ESTUDIO PARA UNIDAD DE TITULACIÓN ESPECIAL

TEMA:

**“SOLUCIÓN BASADA EN ROIP (RADIO OVER IP) COMO SISTEMA ALTERNATIVO O
COMPLEMENTARIO PARA SERVICIOS TRONCALIZADOS DE MISIÓN CRÍTICA”**

ANDRÉS ANÍBAL RIOFRÍO CÓRDOVA

Trabajo previo a la obtención del Título de Magister en Redes de Comunicaciones

Quito, mayo 2015

AUTORÍA

Yo, Andrés Aníbal Riofrío Córdova, portador de la cédula de ciudadanía No.1715487383, declaro bajo juramento que la presente investigación es de total responsabilidad del autor, y que se ha respetado las diferentes fuentes de información realizando las citas correspondientes. Esta investigación no contiene plagio alguno y es resultado de un trabajo serio desarrollado en su totalidad por mi persona.

Andrés Aníbal Riofrío Córdova

Contenido

1. Introducción	4
2. Justificación	5
3. Antecedentes	6
4. Objetivos	7
5. Desarrollo Caso de Estudio	7
6. Conclusiones y Recomendaciones	55
Bibliografía:	58
Anexos:	60

1. Introducción

Este trabajo tiene como propósito establecer una solución basada en RoIP (*Radio over IP*) como un sistema alternativo y/o complementario de comunicaciones vía radio de misión crítica¹, especialmente para servicios troncalizados, el objetivo es presentar un medio de comunicaciones que permita integrarse a cualquier red de comunicación de radio frecuencia, considerando un alto nivel de escalabilidad, bajos costos, con poca infraestructura técnica e interoperabilidad con diversas marcas y modelos.

La primera parte de este caso de estudio analizará los sistemas de comunicaciones vía radio de misión crítica con un enfoque principal en los servicios troncalizados, identificando ventajas y desventajas; debido a que, este servicio es utilizado generalmente en comunicaciones por entidades bajo cuya responsabilidad se encuentre el manejo de la seguridad Integral², control de tránsito y la atención de emergencias; luego, se analizará soluciones alternativas de comunicación que permitan solventar las desventajas de la comunicación vía radio. En la tercera parte, se realiza un estudio analítico de la mejor alternativa tecnológica actual que pueda ser empleada para la transmisión de datos basados en RoIP, posteriormente se analizará todos los requerimientos de *networking* (vinculación de equipos informáticos para compartir datos) necesarios, con la finalidad de contar con conectividad desde los clientes RoIP hacia equipos de radio frecuencia. En la cuarta parte, se implementará la solución propuesta y se realizará pruebas de la misma, para lo cual se establecerán comunicaciones de voz vía radio de forma continua entre un servidor y un cliente RoIP y entre un servidor y varios clientes RoIP, se evaluarán los resultados y finalmente se elaborará un artículo referente a la solución basada en RoIP como medio alternativo y/o complementario a servicios troncalizados, de acuerdo con los parámetros establecidos para ser publicado en una revista indexada.

¹ Sistemas de misión crítica: sistemas utilizados en actividades esenciales, en caso de fallas tendrían un impacto muy importante.

² Seguridad Integral: de acuerdo las directrices del Estado abarca seguridad económica, seguridad alimentaria, seguridad sanitaria, seguridad ambiental, seguridad política, seguridad comunitaria y seguridad personal.

2. Justificación

Para la implementación de sistemas de comunicaciones convencionales de radio frecuencia se debe considerar aparte del hardware y software necesario; un factor muy importante que es la disponibilidad de espectro radioeléctrico, que de acuerdo a la normativa vigente en el país se debe considerar lo siguiente:

“El espectro radioeléctrico es un recurso natural y limitado perteneciente al Estado, el cual debe ser regulado, administrado y usado de manera eficiente, para cumplir con la finalidad de servicio a la comunidad y en total beneficio del país.” [1]

En lo referente a servicios troncalizados la principal ventaja es que comparten de forma automática cierto número de canales o vías de comunicación entre un gran número de usuarios, esta característica permite que estos servicios sean más eficientes en la utilización del espectro; pero por otro lado, son sistemas de comunicación de banda estrecha, con un alto costo de implementación y mantenimiento, que en su mayoría soportan telefonía y datos de baja velocidad y generalmente en anchos de banda de 25 KHz; adicionalmente, la banda de frecuencia 806-869 MHz destinada para estas comunicaciones, en el país actualmente se encuentra saturada [2]; estas consideraciones evidencian la necesidad de plantear redes alternativas y/o complementarias que permitan la interoperabilidad entre diversas marcas y modelos de equipos terminales, ampliar su cobertura y contar con movilidad en casos eventuales como por ejemplo emergencias de gran magnitud que requieren comunicación solo por el tiempo que dura el incidente y en un sitio específico, una vez finalizado, éstos podrán ser retirados y reutilizados; de esta forma se optimiza y se aprovecha de mejor manera los servicios troncalizados ya implementados.

En situaciones de emergencia estén sean antrópicas y no antrópicas³, es crucial mantener las comunicaciones en todo momento y lugar; por esta razón, y considerando la convergencia de las tecnologías y las redes de nueva generación, dentro de las características que deberían establecerse para los servicios de comunicación de misión crítica son: interoperabilidad entre redes existentes y por implementarse, alta escalabilidad, rápido despliegue y redundancia con soluciones alternativas de comunicación [3].

La tecnología de Radio sobre IP, RoIP por sus siglas en inglés, permite la interoperabilidad con el Protocolo de Internet IP y pueden utilizar la infraestructura IP ya existente; de esta forma brindan versatilidad en los servicios alternativos y/o complementarios que se puedan prestar.

³ Se considera emergencias de carácter antrópico cuando se refiere a las que son ocasionados por el hombre; y, las de carácter no antrópicas son las que no son ocasionadas por el hombre, estas pueden ser ocasionadas por desastres naturales.

3. Antecedentes

En la actualidad existen varios servicios de comunicación de misión crítica vía radio frecuencia utilizados por entidades públicas; el principal sistema es la Red Nacional Troncalizada, esta Red hasta el momento tiene usuarios de Policía Nacional, Ministerio de Salud Pública y Comisión de Tránsito del Ecuador; sin embargo, de acuerdo a disponibilidad técnica y de cobertura podrían ingresar entidades públicas que bajo su responsabilidad esté el manejo y gestión de la seguridad integral, control de tránsito y atención de servicios de emergencia; esta Red opera en la banda de los 800 MHz bajo el estándar P25; es importante mencionar que existen otras entidades públicas como por ejemplo cuerpos de bomberos que utilizan las bandas VHF para comunicarse entre sí, esto demuestra una diversidad de redes de misión crítica; y, que actualmente presentan la problemática de que estos sistemas por sus diferentes características no podrían ser interoperables y establecer comunicaciones en caso extremos o de emergencias de gran magnitud. Al implementarse una Red Nacional Troncalizada se establece un lineamiento a nivel estatal que permite usar y manejar de una manera más eficiente el espectro radioeléctrico y sobre todo permite la integración o interoperabilidad; pero para su implementación se realizó una alta inversión que supera los 50 millones de dólares⁴ y se consiguió una cobertura poblacional del 95%, esto quiere decir que se brinda el servicio a zonas con mayor densidad poblacional o zonas urbanas, dejando con escaso o nulo servicio a zonas rurales y urbano marginales; por lo cual, a nivel territorial existen varios sitios sin cobertura. Adicionalmente, a los problemas de cobertura que se pueden presentar, se debe considerar zonas con una alta densidad poblacional que pueden llegar a saturar los canales de comunicación.

En base de lo expuesto, se identifica los problemas y las necesidades de la situación actual de las comunicaciones de misión crítica; por lo que, soluciones de comunicación alternativas y/o complementarias se tornan necesarias, para este caso de estudio se propone la utilización de los redes RoIP (*Radio over IP*), que se basan en el protocolo IP y permiten la interoperabilidad con la diversidad de servicios de comunicaciones vía radio actuales.

⁴ Fuente: Ministerio del Interior (<http://www.ministeriointerior.gob.ec/tag/cnt/>)

4. Objetivos

4.1. Objetivo General:

Implementar una propuesta de RoIP como solución de comunicaciones alternativa y/o complementaria para servicios troncalizados de misión crítica, para la solución de problemas de falta de cobertura y saturación de canales de transmisión.

4.2. Objetivos Específicos:

1. Analizar los sistemas de comunicaciones vía radio con un enfoque principal en los servicios troncalizados.
2. Analizar soluciones alternativas de comunicaciones de radio.
3. Identificar los equipos idóneos para conectividad entre cliente y servidor RoIP.
4. Estudio de Networking y configuración de equipos.
5. Implementación de una solución alternativa y/o complementaria de RoIP.
6. Pruebas del sistema Punto-Punto / Punto-Multi-Punto y evaluación de resultados obtenidos.
7. Realización de un artículo referente al sistema RoIP como sistema alternativo y/o complementario a servicios troncalizados.

5. Desarrollo Caso de Estudio

5.1. SISTEMAS DE COMUNICACIONES VÍA RADIO

En el Ecuador y a nivel mundial, los sistemas de comunicaciones vía radio más usados para protección pública y operaciones de socorro, son los sistemas HF, VHF y UHF.

Los servicios de misión crítica se consideran a los utilizados en actividades esenciales, en caso de fallas tendrían un impacto muy importante; por esta razón, para este caso de estudio se refiere a las redes de comunicaciones vía radio utilizados por entidades públicas que bajo su responsabilidad esté el manejo y la gestión de la seguridad integral, control de tránsito y atención de servicios de emergencias.

La Unión Internacional de Telecomunicaciones en la Resolución 646 (CMR-03) de Protección pública y operaciones de socorro, dentro de las bandas/gamas de frecuencia para protección pública y las operaciones de socorro, recomienda considerar las siguientes: 380-470 MHz, 746-806 MHz, 806-896 MHz, 4940-4990 MHz, 406,1-430 MHz, 440-470 MHz, 806-824/851-869 MHz, 4 940-4 990 MHz y 5 850-5 925 MHz. [7]

5.1.1. SISTEMAS HF, VHF Y UHF

5.1.1.1. Sistemas HF (*High frequencies*)

Estos sistemas utilizan la banda de 3 a 30 MHz, gran parte de las radiocomunicaciones en dos sentidos usa este intervalo, es usado principalmente por radio aficionados y la banda civil/ciudadana.

Anteriormente, la única forma de comunicación para grandes distancias, por ejemplo entre continentes era a través de los radios HF; sus principales desventajas es que son fácilmente interceptarles, presentan baja calidad en la transmisión y muy susceptibles a interferencias. Por esta razón no es recomendable conectarla a la Red Telefónica Pública Conmutada (RTPC).

5.1.1.2. Sistemas VHF (*Very High Frequencies*)

Estos sistemas utilizan la banda de 30 a 300 MHz, en su mayoría son usados para radios móviles, comunicaciones marinas y aeronáuticas, emisión comercial de FM (88 a 108 MHz) y para la transmisión de televisión en los canales de 2 a 13 (54 a 216 MHz).

Su utilización típica se presenta en zonas rurales y urbano marginales; en comparación con los sistemas HF y los UHF presentan tamaños y ganancias medias en las antenas; costos medios de los equipos terminales; y, utilizan una canalización de 12,5 y 25 KHz.

En el Ecuador, los sistemas VHF, debido a que existe mayor disponibilidad de espectro electromagnético, bajo costo de equipos e infraestructura a comparación de los sistemas UHF, uso local y no nacional, no requieren de sistemas de seguridad en las comunicaciones (encriptación/codificación); son usados principalmente por cuerpos de bomberos, agencias metropolitanas de tránsito, entre otros.

5.1.1.3. Sistemas UHF (*Ultra High Frequencies*)

Estos sistemas utilizan la banda de 300 MHz a 3 GHz, son usados en transmisión de televisión, en los canales de 14 a 83, en los servicios móviles de comunicaciones terrestres, teléfonos celulares, sistemas de radar y navegación, sistemas de radio por microonda y por satélite.

Su utilización típica se presenta en zonas urbanas; en comparación con los sistemas HF y los VHF presentan tamaños pequeños y ganancias altas en las antenas; costos altos de los equipos terminales; y, utiliza una canalización de 12,5 y 25 KHz.

Los sistemas UHF son usados principalmente para comunicaciones de seguridad ciudadana; debido a que, permiten implementar sistemas más robustos, aplicando estándares de seguridad en las comunicaciones como por ejemplo encriptación AES (*Advanced Encryption Standard*).

5.1.2. ANÁLISIS DE ESPECTRO RADIOELÉCTRICO EN EL ECUADOR PARA SISTEMAS DE COMUNICACIÓN VÍA RADIO DE MISIÓN CRÍTICA.

En el Ecuador para los sistemas de comunicaciones vía radio; de acuerdo, al Plan Nacional de Frecuencias [9] se establece a los de radio de dos vías y los troncalizados (utilizados para protección pública y operaciones de socorro).

Las entidades de protección pública y operaciones de socorro en el Ecuador, de forma general usan el espectro radioeléctrico de la siguiente forma: Cuerpos de bomberos, Cruz Roja y algunas agencias metropolitanas de tránsito en la banda VHF (138 – 144 y 148 – 174 MHz); y, Policía Nacional, Ministerio de Salud Pública y Comisión de Transito del Ecuador en la banda UHF (806 – 811 MHz y 851 – 856 MHz; y, 811 – 824 MHz y 856 – 869 MHz).

5.1.2.1. SISTEMAS DE RADIO DE DOS VÍAS

El Plan Nacional de Frecuencias del Ecuador, define a los sistemas de radio de dos vías como: *“Son sistemas de radiocomunicaciones que transmiten y reciben comunicaciones en modo simplex o semidúplex y utilizan la tecnología push to talk”*; para lo cual, se asigna las bandas 138 – 144 y 148 – 174 MHz para VHF; y, 440 – 512 MHz para UHF.

En las estadísticas que están disponibles en la página web de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones se puede obtener el porcentaje de ocupación del espectro para los sistemas de radio de dos vías (138 – 144, 148 – 174 y 440 – 512 MHz); el cual, se muestra en las figuras 1 y 2.

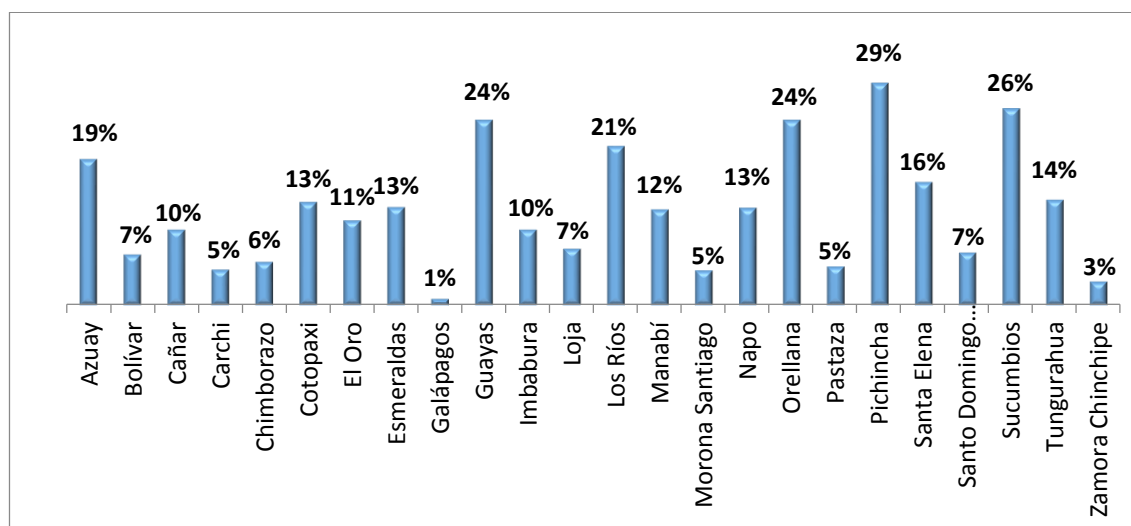


Figura 1. Ocupación del Espectro en la Banda 138-144 y 148-174 MHz.

Fuente: ARCOTEL⁵, marzo 2015.

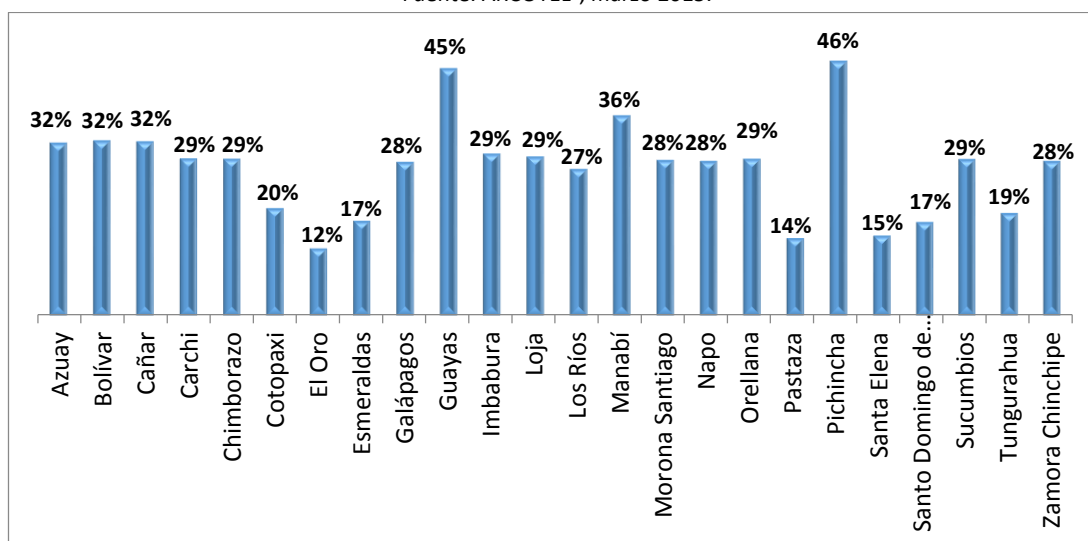


Figura 2. Ocupación del Espectro en la Banda UHF 440-512 MHz.

Fuente: ARCOTEL, marzo 2015.

De acuerdo al porcentaje de ocupación del espectro para los sistema de radio de dos vías, tanto para la banda de VHF y UHF el mayor uso se presenta en la provincia de Pichincha con el 29% y 46% respectivamente; así como, en la provincia de Guayas con el 24% y 45% respectivamente; la banda VHF es la menos utiliza, la banda UHF es más utilizada que VHF; sin embargo, en la provincia con mayor uso no supera el 50%.

5.1.2.2. SISTEMA TRONCALIZADO

El Plan Nacional de Frecuencias del Ecuador, define al Sistema Troncalizado como: “*Sistema de Radiocomunicación de los Servicios Fijo y Móvil terrestre, que utiliza múltiples pares de frecuencias, en que las estaciones establecen comunicación mediante el acceso en forma automática a cualquiera de los canales que estén disponibles*”; para lo cual, se asigna las bandas 806 – 824 MHz, 851 – 869 MHz, 896 – 898 MHz, 932 – 934 MHz y 935 – 937 MHz para este fin.

De acuerdo al “REGLAMENTO PARA PARA LA EXPLOTACIÓN DE LOS SISTEMAS TRONCALIZADOS” [10], en el artículo 6, se establece la canalización de las bandas de frecuencia de la siguiente forma:

- Bandas de 806 – 811 MHz y 851 – 856 MHz, se dividen en 200 canales para transmisión y recepción.
- Bandas de 811 – 824 MHz y 856 – 869 MHz, se dividen en 500 canales para transmisión y recepción.

⁵ Las estadísticas presentadas como fuente la ARCOTEL (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones), se obtuvieron de su página web (<http://www.arcotel.gob.ec/biblioteca/>).

- c. Bandas de 896 – 898 MHz y 935 – 937 MHz, se dividen en 80 canales para transmisión y recepción.
- d. Bandas de 902 – 904 MHz y 932 – 934 MHz, se dividen en 80 canales para transmisión y recepción.

Las bandas en el literal c y d no están autorizadas para la concesión; por lo cual, de los literales a y b, estarían disponibles 700 canales para transmisión y recepción.

En la tabla 1 se presenta el número de canales asignados a empresas privadas, para la explotación de servicio troncalizados y el porcentaje de uso; en base, a la consideración del párrafo anterior.

		CANALES USADOS	% DE USO
ZONA 1 Guayas, Santa Elena, Los Ríos y Galápagos	Guayaquil y alrededores (1a)	330	47%
	Resto del Guayas, Santa Elena, Los Ríos y Galápagos (1b)	75	11%
ZONA 2 Pichincha, Santo Domingo, Sucumbíos, Napo y Orellana	Quito y alrededores (2a)	355	51%
	Resto de Pichincha, Santo Domingo, Sucumbíos, Napo y Orellana (2b)	50	7%
ZONA 3	Manabí	55	8%
ZONA 4	El Oro y Loja	50	7%
ZONA 5	Azuay, Cañar y Zamora Chinchipe	80	11%
ZONA 6	Carchi, Imbabura y Esmeraldas	25	4%
ZONA 7	Tungurahua, Cotopaxi y Pastaza	40	6%
ZONA 8	Bolívar, Chimborazo y Morona Santiago	20	3%

Tabla 1. Canales y porcentaje de uso en las bandas destinadas al sistema troncalizado.

Fuente: ARCOTEL, marzo 2015.

En la figura 3 se presenta un cuadro con el porcentaje de utilización por empresas privadas de las bandas destinadas al sistema troncalizado en el Ecuador:

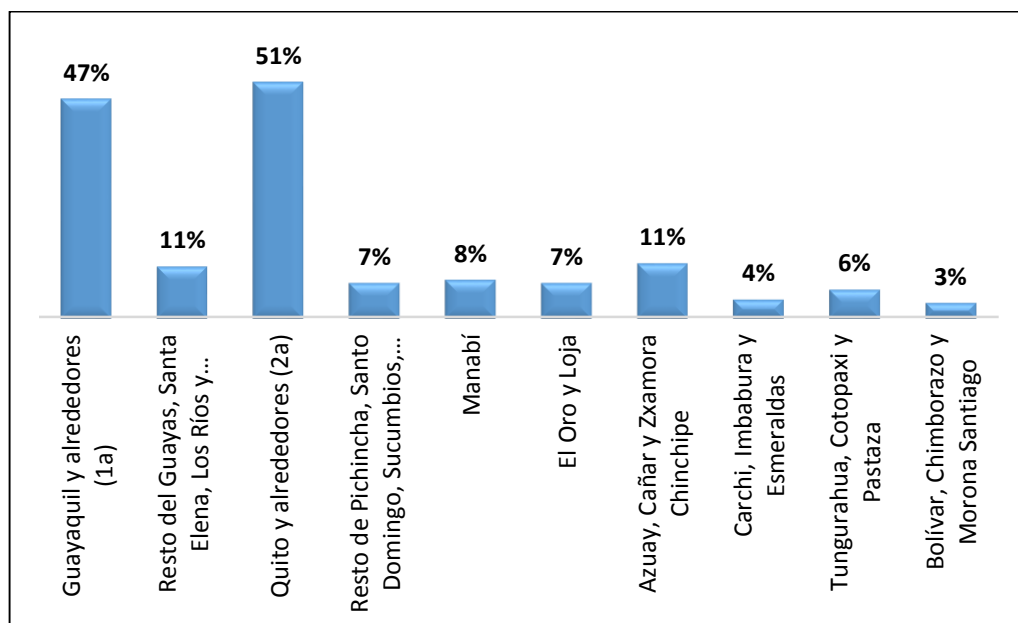


Figura 3. Porcentaje de utilización de empresas privadas del servicio troncalizado en el Ecuador.

Fuente: ARCOTEL, marzo 2015.

Como se observa en el gráfico anterior la ocupación del espectro para el sistema troncalizado en Quito y Guayaquil es alto, aproximadamente un 50%; se debe tomar en cuenta que no está considerado el espectro radioeléctrico para la Red Nacional Troncalizada.

Al evidenciar el alto uso del espectro para sistemas troncalizados, se torna necesario buscar alternativas para optimizar el espectro ocupado o la utilización de sistemas alternativos de comunicación en otras bandas con bajo índice de uso que interoperen con sistemas troncalizados.

Por estas razones, es urgente tomar medidas que optimicen el uso del espectro radio eléctrico asignado para servicios troncalizados, como puede ser:

- Reemplazo de sistemas analógicos por sistemas digitales y cambiar la canalización de 25 KHz a 12,5 KHz; sin embargo esta acción implica una inversión económica considerable; debido a que, en los casos en que se cuente con canales Quantar (equipo analógico, que solo permite canalización 25 KHz) se debe migrar a canales GTR 2000 (equipo digital, que permite canalización 25 KHz y 12,5 KHz).
- Establecer mecanismos para aprovechar de mejor manera los recursos; por ejemplo, establecer grupos de conversación con mayor número de abonados; sin embargo, esta medida ocasiona que más abonados compitan por un canal y con lleva a tener un porcentaje más alto de probabilidad de bloqueo de llamadas; por ende, baja la calidad del servicio.

- Establecer perfiles en los equipos terminales delimitados por zonas de cobertura, con el propósito de balancear la carga de tráfico en sitios con mayor probabilidad de bloqueo de llamadas; sin embargo, esta medida debe ser validada con la gestión operativa de las instituciones de protección pública y operaciones de socorro, puesto que su gestión es dinámica en lo que respecta a zonas de cobertura.

5.1.3. SISTEMAS TRONCALIZADOS EN EL ECUADOR

5.1.3.1. SISTEMAS TRONCALIZADOS PRIVADOS

Las empresas BRUNACCI S.A., COMOVEC S.A., MARCONI S.A., MONTTCASHIRE S.A., MULTICOM S.A. y RACOMDES S.A., poseen el respectivo Título Habilitante para la explotación del servicio de sistemas troncalizados; como se muestra en la tabla 2, el número de abonados a nivel nacional es de 25.109 y la empresa con mayor participación en el mercado es MULTICOM S.A. con el 30,35%.

EMPRESA	NUMERO DE ABONADOS	PORCENTAJE DE PARTICIPACIÓN DEL MERCADO - TRONCALIZADOS
BRUNACCI	3.143	12,52%
COMOVEC	2.526	10,06%
MARCONI	2.862	11,40%
MONTTCASHIRE	4.274	17,02%
MULTICOM	7.620	30,35%
RACOMDES	4.684	18,65%
Total:	25.109	100%

Tabla 2. Usuarios sistemas troncalizados privados.

Fuente: ARCOTEL, marzo 2015.

5.1.3.2. SISTEMAS TRONCALIZADOS PARA SEGURIDAD PÚBLICA

En el Ecuador se utilizan sistemas troncalizados en la banda de UHF (806 – 811 MHz y 851 – 856 MHz, 811 – 824 MHz y 856 – 869 MHz) para las comunicaciones de seguridad: ciudadana⁶; externa y territorial⁷; y, Transito y movilidad⁸; debido a que, permiten brindar mayor eficiencia en el uso de recursos radioeléctricos, los cuales son utilizados para transmitir o recibir voz o datos entre equipos terminales; por la capacidad de una selección dinámica y automática de canales y porque son más robustos, permitiendo aplicar estándares de seguridad en las comunicaciones como por ejemplo encriptación AES

⁶ La competencia del tratamiento a incidentes o emergencias relacionadas con la Seguridad Ciudadana en el Ecuador le corresponde a Policía Nacional.

⁷ La competencia del tratamiento a incidentes o emergencias relacionadas con la Seguridad Externa y Territorial en el Ecuador le pertenece a Fuerzas Armadas.

⁸ La competencia del tratamiento a incidentes o emergencias relacionadas con Transito o Movilidad en el Ecuador le pertenece a las Unidades de Transito conformadas por la Comisión de Transito del Ecuador, la Policía Nacional y las Unidades Municipales de Transito (a nivel de Gobierno Autónomo Descentralizado), instituciones encargadas de velar por el control de tránsito y la movilidad en sus áreas de competencia.

(*Advanced Encryption Standard*); a estos sistemas de comunicación se los denomina como sistemas de comunicación de misión crítica.

Inicialmente, cada institución del estado manejaba y gestionaba su red troncalizada independientemente, las primeras instituciones del Ecuador en implementar su red fueron la Policía Nacional y las Fuerzas Armadas, posteriormente la Comisión de Tránsito del Ecuador; lo que representó para el Estado ecuatoriano una alta inversión para cada red, puesto que para la implementación de cada red se requiere adquirir infraestructura, centros de administración, torres de repetición, canales de transmisión, personal especializado, equipos terminales, entre otros; sin embargo, por el costo elevado que representa ninguna de estas redes alcanzó una cobertura del 100%.

En lo referente a la red troncalizada de la Policía Nacional, ésta brindaba una cobertura poblacional del 65% a nivel nacional, a través de 26 sitios de repetición y 229 canales de comunicación⁹.

En lo referente a la red troncalizada de la Comisión de Tránsito del Ecuador, ésta brindaba cobertura solo en las provincias en las cuales tenía competencia (Guayas, Santa Elena y Manabí), a través de 8 sitios de repetición y 73 canales de comunicación¹⁰.

Con la visión de integrar una sola red de Seguridad Pública a nivel nacional sobre la base de toda la infraestructura existente de Policía Nacional, Fuerzas Armadas y Comisión de Tránsito del Ecuador, que permita brindar comunicaciones de misión crítica con una cobertura poblacional del 100%, usar y manejar de una manera más eficiente el espectro radioeléctrico, optimizar la inversión de recursos de estado aprovechándolos al máximo y de forma adecuada, que el servicio sea prestado por una operadora de servicios de telecomunicaciones y que en casos de desastres de gran magnitud permita la integración o interoperabilidad; el Presidente de la República dispuso el desarrollo del Proyecto de la RED NACIONAL TRONCALIZADA, el mismo que comprende el diseño, la ejecución de los respectivos procesos pre y contractuales, implementación y gerenciamiento, ampliación de capacidad del sistema existente, ampliación de cobertura en función de la implementación de nuevas estaciones base, para ofrecer servicios de voz y datos a través del sistema troncalizado, que permita el buen desarrollo de las actividades operativas y administrativas, así como satisfacer los requerimientos de instituciones del Estado bajo cuya responsabilidad se encuentre el manejo de la seguridad integral, control de tránsito y la prestación de servicios de emergencias naturales o antrópicas, tal es el caso de instituciones como: Ministerio de Coordinación de Seguridad, Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, Policía Nacional, Fuerzas Armadas, Comisión de Tránsito del Ecuador, centros operativos del Servicio Integrado de Seguridad ECU 911, entre otras.

⁹ y ¹⁰ Fuente: Comisión Técnica para el Manejo y Gestión de la Red Nacional Troncalizada, marzo 2015.

Para lo cual, se estableció la Red Nacional Troncalizada, esta Red opera en la banda de los 800 MHz bajo el estándar APCO P25, la rectoría está a cargo del Comité Intersectorial del Servicio Integrado de Seguridad ECU 911¹¹, la administración general y dirección está a cargo de la Comisión Técnica Interinstitucional para el Manejo y Gestión de la Red Nacional Troncalizada, la administración técnica operativa está bajo la responsabilidad de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones E. P., la gestión operativa en cuestión de comunicaciones está a cargo de cada entidad usuaria.

En base a lo expuesto la Corporación Nacional de Telecomunicaciones E.P. realizó una alta inversión, que supera los 50 millones de dólares, lo que consiguió dotar de una cobertura poblacional del 95%, esto quiere decir que se brinda el servicio a zonas con mayor densidad poblacional o zonas urbanas, dejando con escaso o nulo servicio a zonas rurales y urbano marginales; por lo cual, a nivel territorial existen varios sitios sin cobertura; actualmente la red cuenta con 83 sitios de repetición, 726 canales de comunicación y 23.272 usuarios¹²; para que la red brinde cobertura del 100% a nivel poblacional y territorial es necesario implementar más sitios de repetición e infraestructura, lo cual significa realizar una nueva inversión; sin embargo se puede analizar la factibilidad de utilizar sistemas alternativos comunicación de bajo costo para cubrir zonas sin cobertura o complementar sitios de repetición que estén saturados.

5.2. SISTEMAS DE COMUNICACIÓN ALTERNATIVOS O COMPLEMENTARIOS A LOS SISTEMAS DE COMUNICACIONES VÍA RADIO

Para la implementación de sistemas de comunicaciones vía radio se debe tener en cuenta algunas consideraciones, como son: bandas de frecuencias, disponibilidad de espectro radioeléctrico, tecnología a utilizar, costos de implementación, vulnerabilidad de las redes, entre otros.

El espectro radioeléctrico al ser un recurso limitado y escaso, se considera que su disponibilidad es el factor más importante en el diseño de sistemas de comunicación vía radio; como se presentó en el primer capítulo del presente documento, en lo que respecta a la banda de los 806 – 937 MHz que es utilizada para los sistemas troncalizados en el Ecuador, tiene un importante porcentaje de utilización para la ciudad de Quito y Guayaquil; en este sentido, se torna necesario utilizar sistemas alternativos y/o complementarios.

En lo referente a conectividad, solo en lo que corresponde a la Corporación Nacional de Telecomunicaciones E.P., se puede comprobar el crecimiento de infraestructura que soporta Protocolo de Internet (IP); en el año 2006, se tenía implementado 1.251 kilómetros de fibra Óptica a comparación del año 2014 que tiene implementado 12.530 kilómetros de fibra Óptica; respecto a conectividad internacional en el año 2007, se tenía una capacidad de 0,7

¹¹ El Servicio Integrado de Seguridad ECU 911 así como el Comité Intersectorial fueron establecidos mediante Decreto Ejecutivo Nro. 988, publicado en el Registro Oficial Nro. 618 de 13 de enero de 2012.

¹² Fuente: Comisión Técnica Interinstitucional para el Manejo y Gestión de la Red Nacional Troncalizada, Marzo 2015.

Gbps a comparación del año 2014 que tiene una capacidad de 70 Gbps principales + 25 Gbps de baja prioridad + 69 Gbps de CACHE para navegación nacional¹³.

En base a lo expuesto, para este caso de estudio como solución se propone implementar la interoperabilidad entre sistemas de radiocomunicación con sistemas que utilicen o aprovechen la infraestructura existente que soportan el Protocolo de Internet (IP), considerando el desarrollo, avance y despliegue que actualmente tiene la conectividad en el país.

La tecnología de Radio sobre el Protocolo Internet (RoIP) fue desarrollada en 2002 por David Cameron en British Columbia, Canadá, se fundamenta en la voz sobre IP; la cual, de manera general consiste en captar las ondas sonoras de la voz con un micrófono, digitalizar y codificar la señal para convertirla en bits, transmitirla en tiempo real, decodificar y convertir de digital a analógico y reproducirla a través de un periférico (como por ejemplo un parlante); pero a diferencia de los sistemas de VoIP tradicionales, se incluye los sistemas de radio de dos vías en lugar de las llamadas telefónicas.

Esta tecnología provee una metodología para transmitir y recibir radio comunicaciones mediante Protocolo de Internet (IP), un estándar de comunicación de datos para Internet, redes de computación domésticas, para negocios y entidades gubernamentales. RoIP usa técnicas de Voz sobre IP estandarizadas para transmitir la señal análoga de audio de los sistemas de Radio Móvil Terrestre, de manera digital sobre la red.

Adicionalmente a las señales de voz, RoIP transmite también ciertas señales que son específicas de los sistemas de Radio Móvil Terrestre, como señales de control para PTT (*Push To Talk*) y COR (*Carrier Operated Relay*). En un sistema RoIP, las señalizaciones PTT y COR son enviadas a través la red LAN/WAN mediante el *gateway* RoIP en formato IP.

PTT (*Push To Talk* ó presione para hablar), es una señal de control que se establece cuando el usuario quiere hablar, la cual habilita el micrófono del equipo terminal para la comunicación.

COR (*Carrier Operated Relay* ó portadora operada por relé), es una señal de recepción que proporciona una indicación positiva de que una señal está siendo recibida y que el receptor no está en modo *squelch*. Básicamente el COR es una aplicación que se encuentra haciendo un monitoreo y enciende el radio cuando se genera una señal. La función *squelch* actúa para suprimir la salida de audio de un radio receptor en la ausencia de una señal de entrada lo suficientemente fuerte. Se usa para suprimir el ruido de canal cuando el radio no está recibiendo una señal.

5.2.1. MODELO DE FUNCIONAMIENTO DE RoIP

El modelo básico de funcionamiento se muestra en la Figura 4; los dispositivos de radio comunicaciones basados en señales analógicas pueden interactuar con elementos de

¹³ Fuente: CNT E.P, noviembre 2014.

comunicación basados en señales digitales (teléfonos IP, computadores, software de comunicaciones), a través de una red LAN/WAN.

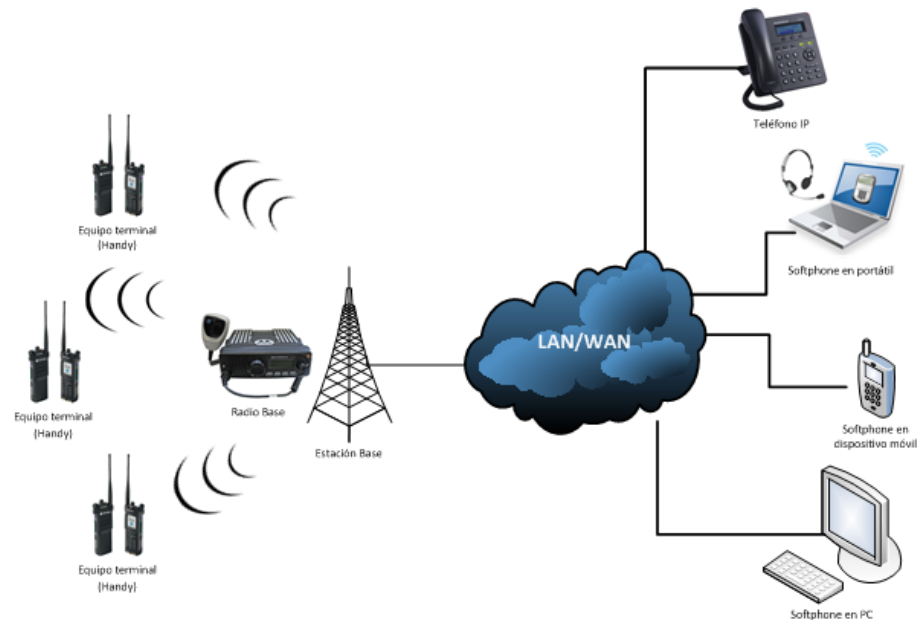


Figura 4. Modelo básico de funcionamiento de RoIP.

En la Figura 5 se muestra el diagrama de bloques de un Sistema RoIP; el audio entrante y la señalización asociada entran a la unidad interfaz RoIP, donde primero pasan por un conversor análogo-digital, se transforman en paquetes de datos y se les asigna una dirección IP que identifica al dispositivo de radio comunicaciones en la red. La trama de datos se transmite a través de la red IP. Este constituye el proceso de transmisión. Dentro de la red, se identifica la dirección IP del dispositivo destino y se direccionan los datos. En recepción, los datos que ingresan a la unidad interfaz RoIP, son desempaquetados y re ensamblados para formar una sola trama que pasa por un convertidor digital-análogo. La salida del sistema es una señal de audio.

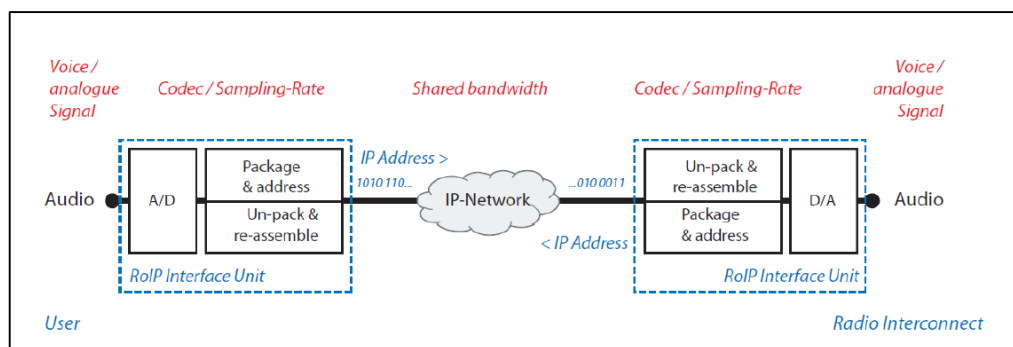


Figura 5. Diagrama de bloques RoIP¹⁴.

¹⁴ Elaborado por: Farhad Fathi (2012). *Radio over Internet Protocol (RoIP)*. Universidad de Teherán. Teherán, Irán. Página Web, último ingreso 01 de marzo de 2015, http://ece.ut.ac.ir/silab/courses/CIDSP/CIDSP/Resources_files/CIDSPS91Presentation_RoIP_FrahadFathi.pdf.

El desafío inherente a esta tecnología es asegurar que la señal de audio y señalización de control PTT sea transmitida en tiempo real y de manera segura. Además, existe una limitación en cuanto en el modo de comunicación convencional de las redes VoIP: la comunicación de radio móvil es *half-duplex*, mientras que el teléfono usa full dúplex.

5.2.2. PROTOCOLOS

5.2.2.1. Recomendación H.323

La Recomendación ITU-T H.323 “Sistemas de Comunicación Multimedia basados en paquetes” [20], fue desarrollada por el sector de Normalización de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, describe los componentes, procedimientos y protocolos necesarios para los servicios de comunicación multimedia (voz, datos y video) sobre redes de datos en tiempo real.

Esta recomendación puede ser aplicada en cualquier red conmutada de paquetes, excepto la capa física; establece que el protocolo IP puede ser utilizado con mecanismos de transporte confiables, estos utilizan acuses de recibo y retransmisión para asegurar la entrega de información, como es el protocolo TCP (*Transmission Control Protocol*); así como, con mecanismos de transporte no confiables, que utilizan la técnica del mejor esfuerzo, no aseguran la entrega de información, pero son más rápidos porque no sobrecargan la red con paquetes de confirmación y posibles retransmisiones, como es el protocolo UDP (*User Datagram Protocol*). También, utiliza protocolos con complementos como señalización de llamadas y algoritmos de codificación de audio y video, como son RTP (*Real Time Protocol*) y el RTCP (*Real Time Control Protocol*). Finalmente, contempla otras recomendaciones para codificación de audio, como son: de manera mandatoria G.711 y de manera opcional G.722, G.728, G.723.1 y G.729.

Entre las principales características de esta recomendación se presentan las siguientes:

- Soporta cualquier topología de Red.
- Pueden conectarse en redes LAN o WAN.
- Contempla varios niveles de servicio para: voz, voz y datos, voz y video ó voz, datos y video.
- Controla todos los equipos H.323 y las comunicaciones H.323 entre usuarios finales.
- Brinda la descripción de: sistema, componentes, modelo de llamada y procedimientos de señalización de la llamada.

En lo referente a RTP y RTCP, estos protocolos básicamente realizan lo siguiente:

- RTP transportan los datos con características de tiempo real.
- RTCP monitorea la calidad de servicio y entrega información sobre las partes que intervienen en la comunicación.

La principal funcionalidad de las aplicaciones en tiempo real es la habilidad de informar a una o más partes de la red para establecer una llamada, para lo cual se utiliza el protocolo SIP (*Session Invitation Protocol*), este protocolo permite que pares de usuarios establezcan una conexión virtual o asociación entre ambos, para posteriormente iniciar una sesión de transporte RTP. [13]

5.2.2.2. Protocolo RTP (*Real Time Protocol*)

Es un protocolo de transporte que soporta transferencia de datos a destinos múltiples, usando facilidades de multidifusión (*multicast*); entre las etiquetas que genera están: de tiempo (*timestamp*); número de secuencia que ayuda en la sincronización (intra-medios e inter-medios) en el transporte de la información y para reestablecer el *streaming* en el receptor; identificación del tipo de carga; e, indicación de trama. También, presenta campos de datos adicionales que no dispone TCP (*Transmission Control Protocol*).

La mayoría de aplicaciones que utilizan RTP lo realizan sobre protocolos de red no confiables como UDP, para este caso los datos de voz o video son encapsulados en paquetes RTP y estos son encapsulados en segmentos UDP. En la figura 6, se presenta la encapsulación del paquete RTP.



Figura 6. Encapsulación del paquete RTP.

RTP no brinda mecanismos de calidad de servicio; que por ejemplo, garanticen la entrega a tiempo; pero si, confía en los servicios implementados en las capas más bajas; lo cual, no asegura la entrega de información ni evita la entrega en desorden.

5.2.2.3. Protocolo RTCP (*Real Time Control Protocol*)

Es un protocolo de control y gestión de sesiones RTP, se encarga de brindar información sobre la utilización de la red por la que se transmiten datos multimedia, los paquetes RTCP no transportan datos, se encargan de enviar periódicamente a todos los miembros de una sesión paquetes de control con información sobre la calidad del servicio.

RTCP utiliza datos de una sesión multimedia, como son: número de bytes enviados, paquetes perdidos, *jitter* (variación del retardo), entre otros; con el propósito de ajustar la calidad de los datos enviados, lo que permite ajustar la resolución de las imágenes, la tasa de bits del audio o los parámetros de compresión del codificador.

Este protocolo define algunos tipos de paquetes, como son: Informes de emisor y receptor, descripción de la fuente y paquetes de control específicos de la aplicación. [13]

5.2.2.4. Protocolo SIP (*Session Initiation Protocol*)

Es un protocolo de señalización utilizado para iniciar una sesión, permite el establecimiento, la liberación y la modificación de sesiones multimedia. Se basa en el modelo utilizado para transmitir mensajes electrónicos; trabaja como una llamada telefónica, que cuando se quiere encontrar a una persona el teléfono emite un sonido, para el caso de SIP no se marca el número, es un localizador uniforme de recursos.

SIP es solo un protocolo de señalización, luego de establecida la sesión los miembros de la sesión intercambian directamente los datos a través de RTP; no es un protocolo que reserva recurso, por lo tanto, no puede garantizar la calidad el servicio. Es un protocolo de control de llamada y no de control del medio. [14]

5.2.3. VENTAJAS PRINCIPALES DE ROIP

5.2.3.1. Enlace de Sitios

El uso principal y más básico de RoIP es usar la conexión a Internet o a una red LAN/WAN para enlazar dos sitios de radio. Esta es una solución bastante económica, siempre y cuando ambos sitios estén en la misma red. Tradicionalmente, enlazar dos sitios requiere una línea telefónica dedicada o la implementación de un enlace de Radio Frecuencia con equipos de radio, antenas y torres. Si las estaciones no se encuentran en línea de vista directa entre ellas, puede que sea necesario uno o más saltos para hacer el enlace. Factores como la distancia y obstáculos en la topografía significan que la operación de los equipos de radiocomunicaciones tiene limitaciones respecto de su ubicación geográfica determinada.

Además, esta solución reduce costos, ya que pueden usarse las redes de datos existentes y software computacional estándar. Las consolas de control pueden ser ubicadas en cualquier sitio donde exista una red de datos y una computadora básica.

Puede ser muy eficiente en caso de desastres como red de respaldo (*back up*); ya que generalmente las redes de datos son más robustas que redes de voz o facilidades dedicadas.

5.2.3.2. Despacho IP

Mediante el uso de una consola o software RoIP, los usuarios pueden operar los radios de manera remota, desde cualquier lugar que cuente con una conexión de red. Existen aplicaciones de consola disponibles para una gran variedad de dispositivos incluyendo computadores de escritorio, laptops, y tabletas. El grado de gestión varía entre un solo usuario controlando un solo radio a centros de despacho totalmente integrados con varios operadores controlando decenas de radios en distintas ubicaciones.

5.2.3.3. Interoperabilidad

Una de las aplicaciones más interesante de RoIP es la habilidad de articular de manera rápida y sencilla sistemas de radio generalmente incompatibles. De manera general, lo único que se necesita es la conexión de recepción (RX) y transmisión (TX) de audio y las señales de control PTT y COR. Además, interconecta diferentes tipos de equipos como dispositivos móviles, radios, teléfonos IP, *softphones*, etc.

5.2.4. CONSIDERACIONES SOBRE SEGURIDAD

La seguridad en los equipos de comunicación está en la interfaz de aire; los radios análogos no tienen ningún tipo de seguridad al menos que se instalen tarjetas de encriptación; los radios digitales comerciales tienen un nivel 3 de seguridad; los radios de seguridad pública APCO 25 tienen un nivel 5.

Al integrarse varias tecnologías, la seguridad puede ser afectada; las conexiones hacia los sistemas integradores son siempre análogas, como por ejemplo: cuando se integra un radio de seguridad pública con un análogo, todos los usuarios conectados al radio análogo pueden escuchar las conversaciones, para esto es necesario crear un grupo en la red troncalizada, el mismo que permita que las comunicaciones críticas no se vean afectadas; a nivel de red IP la seguridad va a depender de los equipos como *router*, *switch*, id de usuarios, contraseñas, etc.

5.2.5. EQUIPOS ROIP COMERCIALES (ROIP 102 Y 302)

Los equipos de RoIP comerciales, al ser de bajo costo su fabricación no son robustos; esto quiere decir que no cumplen con normas de seguridad pública, como son: contra caída, humedad, agua; sistemas de encriptación; entre otras.

Los equipos RoIP comerciales brindan varios escenarios de interconexión, el equipo más completo (RoIP 302), permite conectar tres radios y tiene un módulo GSM. La principal ventaja es que permiten conectar a una central IP y hacer llamadas de radio a teléfonos IP.

Para solventar las desventajas de los equipos comerciales de RoIP, se los puede armar en una estructura como repetidora en la que incluya una fuente de poder, espacio para un radio de comunicación con ventilación, puede ser tipo rack de 19 pulgadas, o a su vez armar en un equipo tipo militar transportable; con esto, se garantiza mayor robustez al equipo.

Los equipos RoIP 102 y 302 no tienen servicios de consola, operadores, despachadores y más servicios.

En lo referente a seguridad a nivel de red dependerá de la estructura propia de las entidades, se debe recordar que los equipos RoIP comerciales trabajan con protocolos SIP; esta característica, permite integrarse fácilmente a una Central IP como Elastix que se la puede

instalar en minutos y configurar como una extensión normal de un teléfono IP; no se necesita de Personal especializado; el costo es significativamente más bajo; como se mencionó anteriormente, se puede mejorar su robustez; al integrarse a una central IP permite funciones como grabación, llamadas a grupos, etc., sin ningún costo adicional.

El costo referencial de los equipos es: para los RoIP 102 aproximadamente de 130 USD¹⁵, para los RoIP 302 aproximadamente de 600 USD¹⁶.

5.2.6. EQUIPOS INTEGRADORES (ACU1000)

Existen equipos integradores como los ACU1000, que tienen el mismo funcionamiento que los equipos de RoIP comerciales; que es: conectar las señales de audio de los radios analógicos a digitales. Se debe considerar que el audio de cualquier equipo terminal incluso de seguridad pública es analógico en los pines de conexión para conectar a los integradores; la diferencia es que estos integradores tienen más puertos, por lo tanto más servicios.

Son más robustos, cumplen normas militares y de seguridad pública; pueden trabajar con equipos de radio, teléfonos, o cualquier otro equipo de comunicación; y, pueden ampliarse con más tarjetas por su estructura.

El costo referencial de los equipos es: para ACU-1000 BUNDLE aproximadamente es de 7.860 USD y para el ACU 1000 INTEROPERABLE SWITCH es de 8.000 USD¹⁷.

5.3. EQUIPOS IDÓNEOS PARA CONECTIVIDAD ENTRE CLIENTE Y SERVIDOR ROIP

A continuación se presenta una breve descripción del hardware y software a utilizar:

5.3.1. SERVIDOR DE VOIP

Se utilizó el servidor de comunicaciones unificadas Elastix, éste es un servidor de VoIP basado en Linux y de licencia abierta; para este caso de estudio, se trabajó con la versión 2.5.0 para 32 bits. Es compatible con los protocolos de comunicaciones SIP, IAX, H.323 y XMPP. Su capacidad depende del diseño del servidor, el cual puede ser escalable. Su gran desventaja es que no provee encriptación.

Las principales características de Elastix son: correo de voz, fax-a-email, soporte para *softphones*, interfase de configuración Web, sala de conferencias virtuales, grabación de

¹⁵ <http://www.ebay.com/itm/Cross-Network-Gateway-ROIP-102-Convert-Audio-and-PTT-Via-IP-Network-Radio-Of-DBL-/280932661583>

¹⁶ <http://www.ebay.com/itm/221342038972>

¹⁷ <http://www.radioreference.com/apps/classifieds/showproduct.php?product=5052>

llamadas, *roaming* de extensiones, interconexión entre PBX, identificador de llamadas, CRM, sistema avanzado de reportes.

5.3.2. MÁQUINA VIRTUAL

Debido a que Elastix es basado en Linux, se instaló en una máquina virtual, en este caso se utilizó la máquina virtual Oracle Virtual Box, la misma que es una herramienta de acceso libre y de código abierto.

Las principales características de Oracle Virtual Box son: es un potente x86, producto de virtualización AMD64 / Intel 64, se ejecuta en Windows, Linux, Macintosh y host Solaris. En la figura 7, se presenta una captura de pantalla de la máquina virtual instalada en la PC.

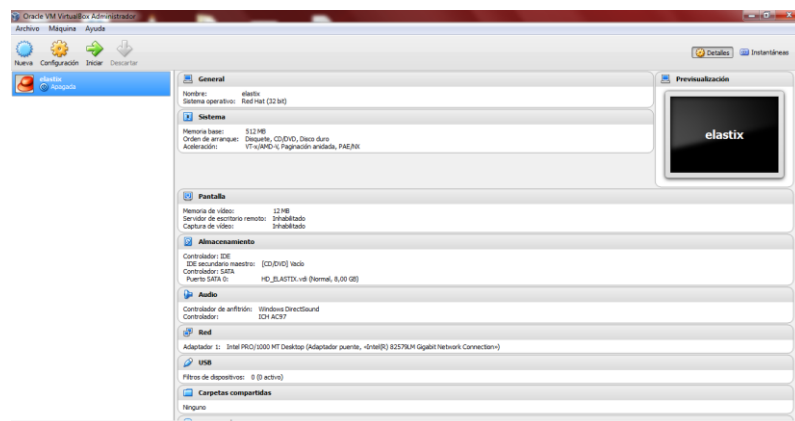


Figura 7. Oracle VM Box instalada en la PC.

5.3.3. EQUIPO PARA CONECTIVIDAD DE RED LAN

Para la conectividad de la Red LAN se utilizó un dispositivo básico de conectividad que es el equipo HG531sV1, es un Router *Wifi* y un Modem ADSL, para este caso de estudio se utilizaron las funcionalidades de Router *Wifi*.

Las principales características de este equipo son: dispone de un puerto RJ-11 para conectar el teléfono o el filtro DSL, dispone de 4 puertos RJ-45 para conectar dispositivos Ethernet, tiene la función para WAN y la negociación WPS (*WiFi Protected Setup*). En la figura 8, se presenta el equipo HG531sV1 y su disponibilidad de conexiones.

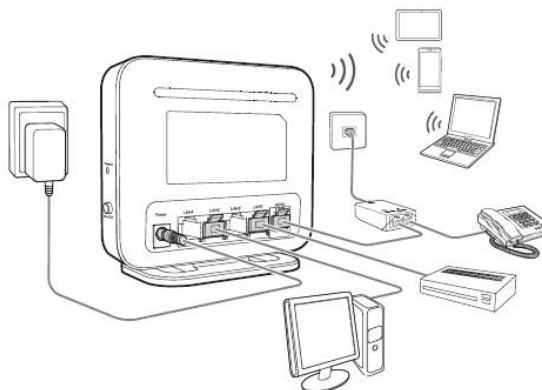


Figura 8. Equipo HG531sV1¹⁸.

5.3.4. EQUIPO ROIP

Para convertir las señales de audio y PTT (*Push To Talk*) de los equipos terminales de radio frecuencia en paquetes IP y luego transmitir los datos a través de redes IP se utilizó el equipo RoIP, modelo RoIP102.

Las principales características de este equipo son: consta de 4 puertos, 2 de red (WAN RJ-45 y LAN RJ-45), 2 puertos RJ-11 (*CHANNEL* y *SWITCH*) uno de ellos para la conexión al conversor que va del ROIP a la base de la radio y un conector 12VDC. En la figura 9, se presenta el equipo RoIP.



Figura 9. Equipo RoIP 102¹⁹.

5.3.5. TELÉFONO IP

Se utilizó el dispositivo de marca GRANDSTREAM y modelo GPX1405; las principales características de este equipo son: funciona bajo el sistema operativo Linux, cuenta con 2 líneas con cuentas SIP, 2 puertos de red integrado con PoE y conferencia de tres de vías, en la figura 10, se presenta la imagen del modelo de teléfono IP utilizado.

¹⁸ Figura obtenida del manual de usuario del equipo "HG531 V1 300Mbps Wireless ADSL2+ Router", que se anexa al presente documento.

¹⁹ Figura obtenida del manual de usuario del equipo "Cross-Network Gateway", modelo RoIP102, que se anexa al presente documento.



Figura 10. Teléfono IP, marca GRANDSTREAM y modelo GPX1405²⁰.

5.3.6. **SOFTPHONE PARA VoIP**

El software que se utilizó para VoIP es Zoiper; el cual, fue instalado en una computadora portátil y en un dispositivo celular, para este caso se utilizó el Iphone 5; las principales características de este software son: se puede ejecutar en todos los sistemas operativos (Windows, Linux, Android, iOS), encriptación de grado militar para llamadas de audio y video e integración a CRM.



Figura 11. *Softphone* Zoiper instalado en PC y dispositivo móvil²¹.

5.3.7. **RADIO BASE**

Se utilizó una radio base de marca Motorola y modelo XTL 1500; la cual requiere de una fuente de poder, ésta es de marca MPI y modelo PS12R que entrega 13.8V DC.

Las principales características de este equipo son: opera tanto en modo analógico como digital, opera en bandas de frecuencia 896 a 940 MHz, niveles de potencia de 10 a 30 Watts, troncalización analógica de 3600 baudios y convencional, utiliza software de programación (CPS) basado en Windows.

²⁰ Figura obtenida del *datasheet* del equipo "GXP1400/1405", que se anexa al presente documento

²¹ Figuras obtenidas en la Web.



Figura 12. Radio base Motorola XTL 1500 y fuente de poder.

5.3.8. EQUIPO TERMINAL (*HANDY*)

Se utilizó un equipo terminal de marca Motorola y modelo XTS 2250 (modelo I, básico sin display); las principales características de este equipo son: opera en sistemas troncalizados P25 analógicos y digitales, diseño robusto que resiste a temperaturas extremas y fuertes golpes, señalización de voz interoperable, software de programación de clientes, encriptación de hardware y software.



Figura 13. Equipo terminal (*Handy*), marca Motorola y modelo XTS 2250²².

5.4. NETWORKING Y CONFIGURACIÓN DE EQUIPOS

5.4.1. SERVIDOR DE VOIP

- a. El servidor de VoIP Elastix, es un software libre basado en Linux y se lo puede descargar del siguiente link:

<http://www.elastix.com/downloads/>

- b. Se debe configurar la interfaz de red (eth0), activando la IPv4 con los parámetros definidos por el administrador de red, para este caso de estudio se usó el siguiente segmento de red: 192.168.1.0/25; los parámetros colocados son los siguientes:

- i. Dirección IP: 192.168.1.50
- ii. Mascara: 255.255.255.192
- iii. Puerta de Enlace: 192.168.1.1

²² Figuras obtenidas en la Web.

- iv. DNS: 192.168.1.1
 - v. Dominio: Elastix.com
- c. Establecer la zona horaria correspondiente.
- d. Asignar la contraseña de *root*.
- e. Finalizar la instalación y reiniciar Elastix.
- f. Debido a que es un software LINUX es necesario implementar una máquina virtual; para lo cual, se utilizó la Oracle VM VirtualBox; la misma que, está disponible en el siguiente link:
- <https://www.virtualbox.org/wiki/Downloads>
- g. Una vez instalada la máquina virtual se crea un icono con nombre de “Oracle VM VirtualBox” en el escritorio del PC, se ingresa dando doble clic y aparece lo siguiente:

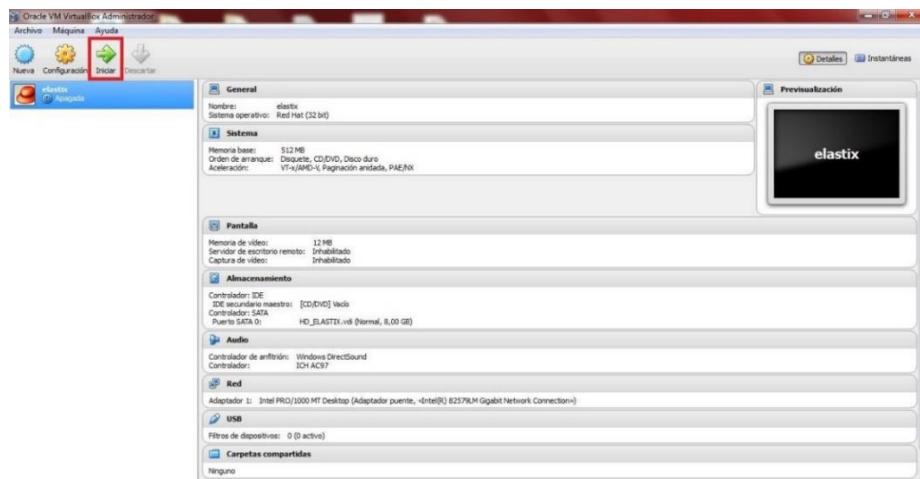


Figura 14. Iniciar Elastix desde la máquina virtual.

- h. Para reiniciar Elastix se debe ingresar a la máquina virtual y dar clic en el botón verde de iniciar; luego, habilitar la cuenta de *root* de MySQL e ingresar con la contraseña de *root*, el sistema muestra la dirección IPv4 con la cual se accede a la interfaz web de Elastix a través del browser, como se muestra en la pantalla de la figura 15.

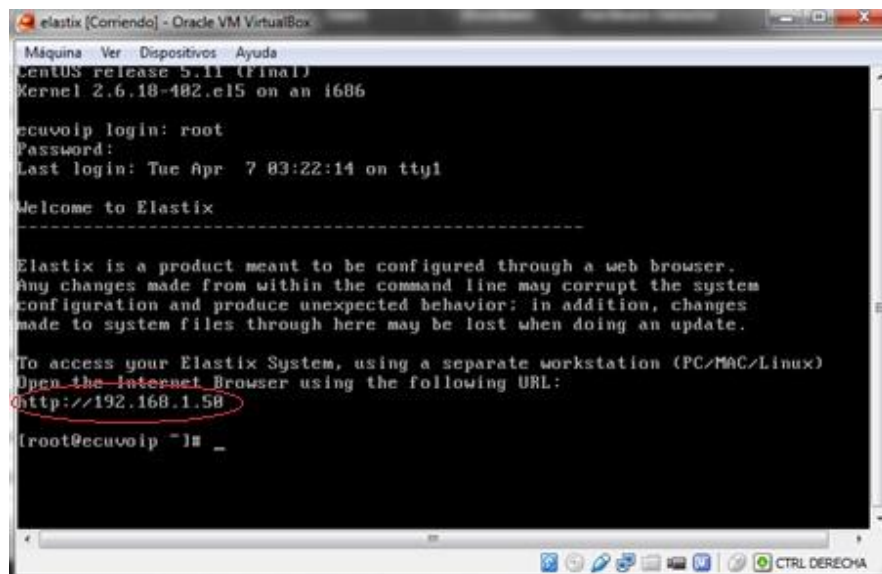


Figura 15. Acceso a *root* Elastix.

- i. Ingreso a través de Internet Browser, usando el URL: <http://192.168.1.50>.

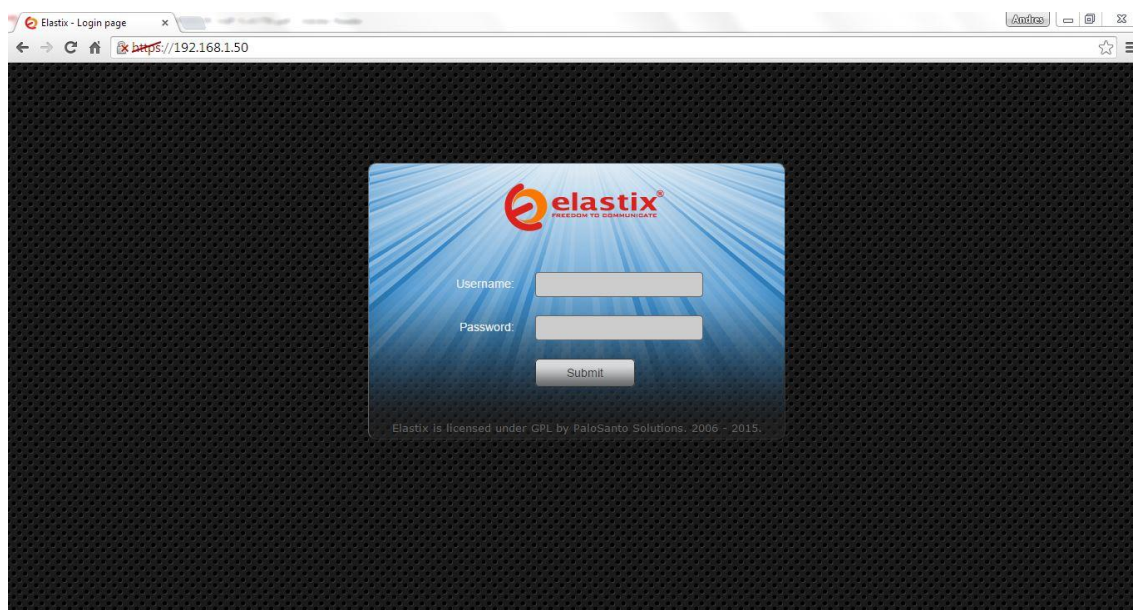


Figura 16. Ingreso a través de Internet Browser.

- j. Al ingresar al servidor Elastix, en el menú de *System/Dashboard* muestra un resumen; en el que, principalmente indica los recursos del sistema, el estado de los procesos, uso de discos duros y gráficos de desempeño, como se observa en la figura 17.

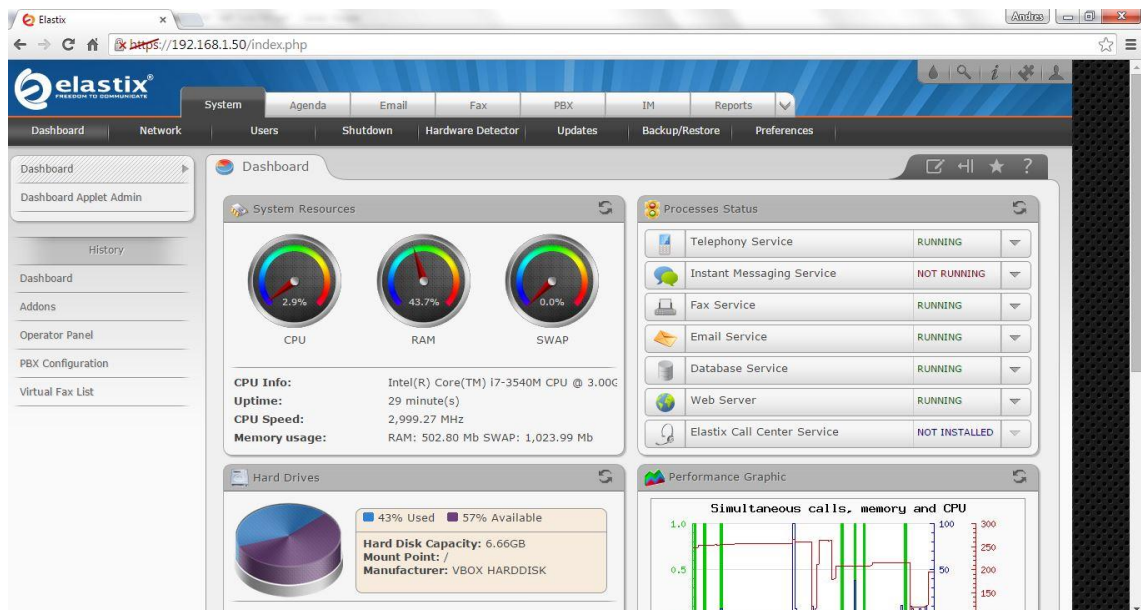
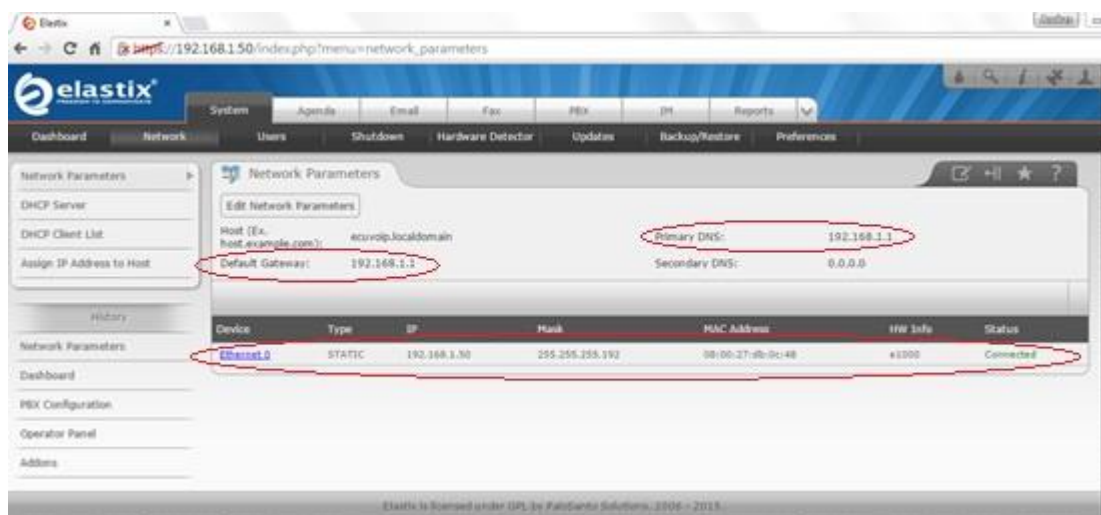


Figura 17. Resumen de estado del sistema.

k. En el menú *System/Network* muestra la configuración realizada en Ethernet 0.



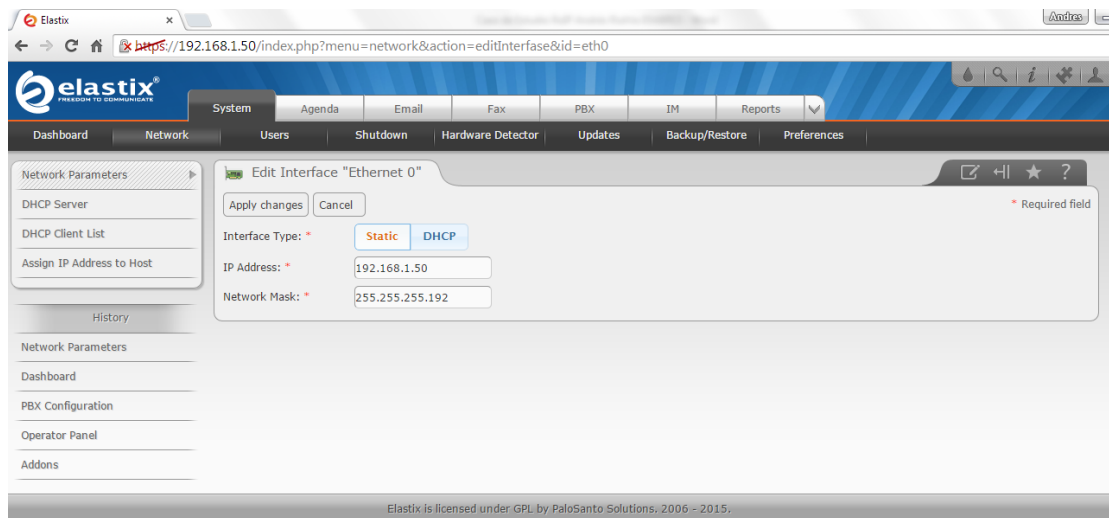


Figura 18. Configuración interfaz "Ethernet 0".

I. En el menú *PBX/PBX Configuration* se realizó la configuración de las extensiones, para este caso se configuró la extensiones de la siguiente manera:

- i. 2001, dispositivo RoIP;
- ii. 2004, teléfono IP;
- iii. 2005, *softphone* instalado en la PC; y,
- iv. 2006, *softphone* instalado en dispositivo móvil.

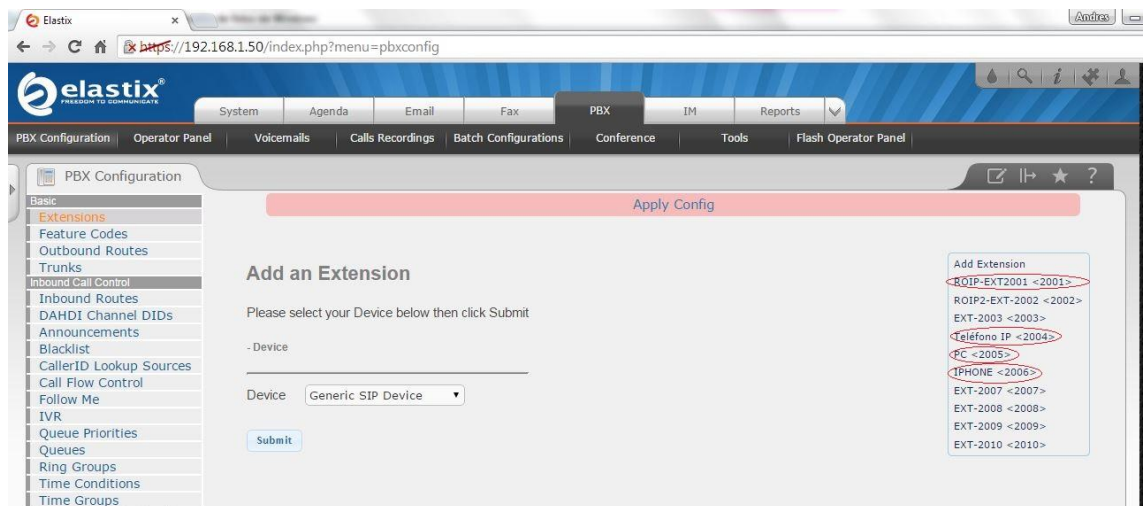


Figura 19. Configuración de extensiones.

m. En el menú *PBX/Operator Panel*, se puede administrar las extensiones y permite visualizarlas y la dirección IP asociada; como se indica en la figura 20, las extensiones sombreadas son las que están activas.

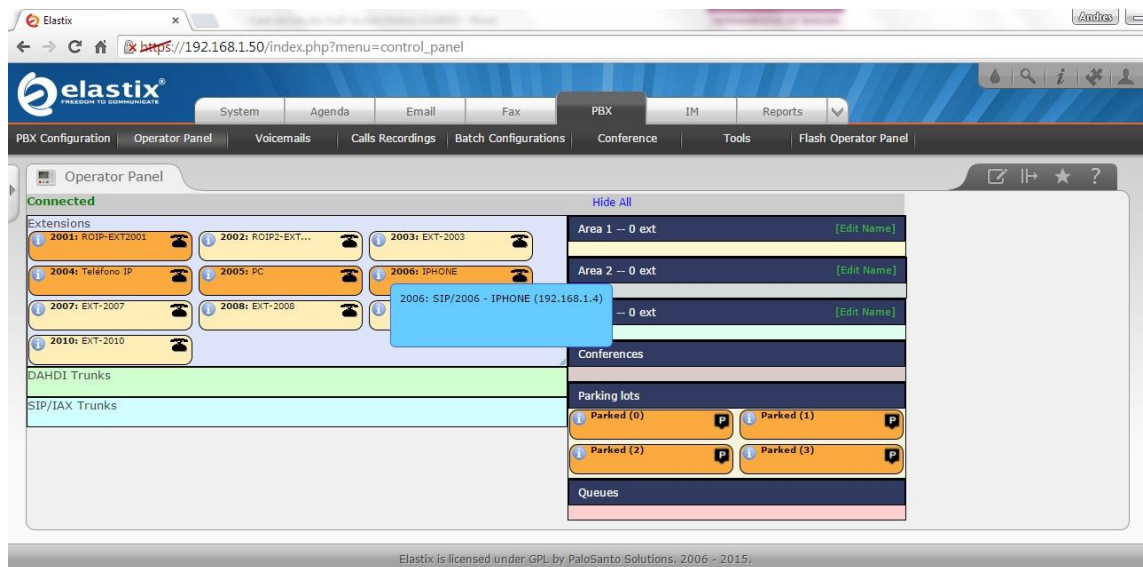


Figura 20. Menú PBX/Operator Panel.

5.4.2. TELEFONO IP

- a. El equipo Router HG531sV1 le asigna la dirección IP al teléfono IP, para este caso fue 192.168.1.3, la cual permite acceder a la configuración del teléfono a través del Internet Browser; la contraseña establecida por defecto es *admin*.



Figura 21. Acceso al teléfono a través del Internet Browser.

- b. En el menú de *Cuentas/Cuentas 1/Configuraciones generales* se activa la cuenta, se establece el nombre de cuenta (telefonoIP), la dirección IP del Servidor SIP (192.168.1.50) y el ID del usuario SIP (2004).

Grandstream GXP1405 Admin Cerrar sesión | Reiniciar Español

Estado Cuentas Ajustes Red Mantenimiento Agenda telefónica Versión 1.0.6.7

Cuentas

Cuenta 1

Configuraciones generales

Ajustes de red

Configuraciones SIP

Configuraciones de Audio

Configuraciones de llamadas

Cuenta 2

Configuraciones generales

Cuenta Activa ☐ No ☒ SI

Nombre Cuenta

Servidor SIP

Servidor SIP secundario

Proxy de Salida

ID Usuario SIP

ID Autenticado SIP

Clave Autenticada

Nombre

ID Usuario para Correo de Voz

Guardar Guardar y aplicar Reiniciar

Copyright © Grandstream Networks, Inc. 2015. Todos los derechos reservados.

Figura 22. Configuraciones generales teléfono IP.

- c. En el menú *Estado/Estado de la cuenta* se puede comprobar la configuración establecida y el registro SIP.

Grandstream GXP1405 Admin Cerrar sesión | Reiniciar Español

Estado Cuentas Ajustes Red Mantenimiento Agenda telefónica Versión 1.0.6.7

Estado

Estado de la cuenta

Estado de la Red	Cuenta	ID Usuario SIP	Servidor SIP	Registrar SIP
Información del sistema	Cuenta 1	2004	192.168.1.50	SI
	Cuenta 2			NO

Copyright © Grandstream Networks, Inc. 2015. Todos los derechos reservados.

Figura 23. Estado de la cuenta del teléfono IP.

5.4.3. SOFTPHONE EN PC

La configuración del *softphone* en el PC es la misma que se realizaría en un teléfono IP, se debe abrir la opción *Preferences*, en el menú *General/SIP account options* se establece en el dominio la dirección IP del servidor IP (192.168.1.50); en el campo nombre de usuario, se debe ingresar el mismo nombre asignado en el servidor VoIP (PC); en el campo contraseña, se debe establecer la misma contraseña asignada en el servidor VoIP; y, en el campo nombre del identificador de llamada se debe establecer el número de extensión asignado para el *softphone* del computador (2005).

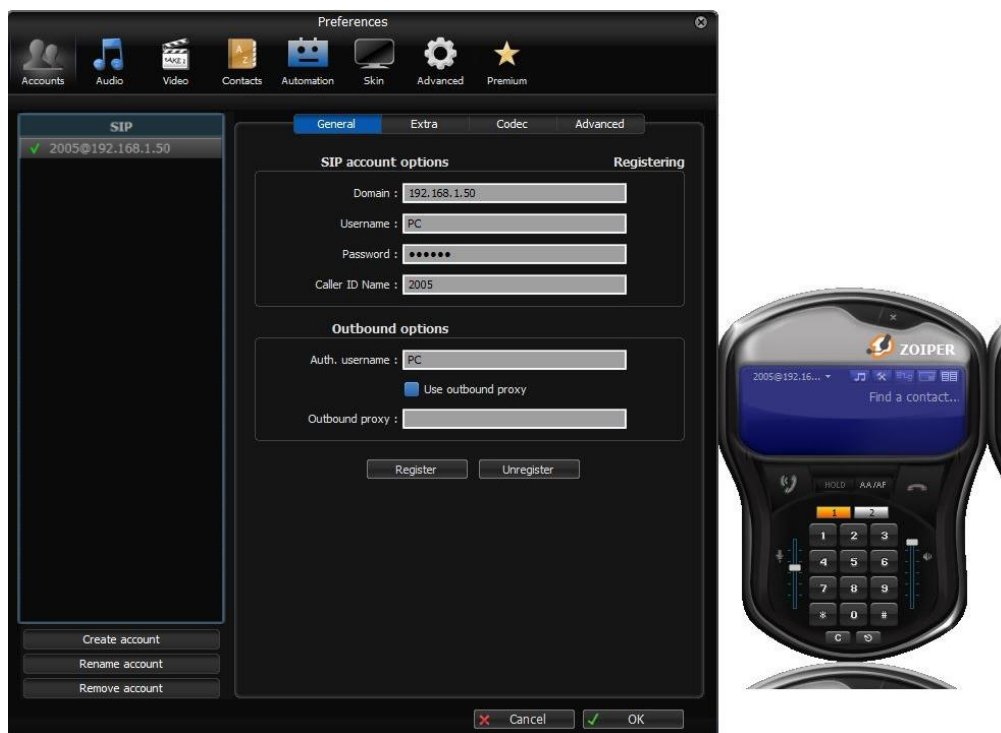


Figura 24. Configuración *softphone* en PC.

5.4.4. **SOFTPHONE EN DISPOSITIVO MÓVIL**

La configuración del *softphone* en el dispositivo móvil es la misma que se realizó en el teléfono IP y el *softphone* en PC, se debe abrir la opción *Ajustes*, ingresar a la opción *cuentas/opciones SIP*, se debe establecer en el campo *nombre de cuenta* el mismo nombre asignado en el servidor VoIP (IPHONE); en el campo *dominio*, se debe ingresar la dirección IP del servidor VoIP (192.168.1.50); en el campo usuario, se debe establecer el número de extensión asignado para el *softphone* del dispositivo móvil (2006); y, en el campo contraseña, se debe ingresar la misma contraseña asignada en el servidor IP.



Figura 25. Configuración *softphone* en dispositivo móvil.

5.4.5. EQUIPO ROIP

a. Acceso al dispositivo RoIP con la configuración por defecto

Para que el dispositivo RoIP asigne una dirección IPv4 a la PC; y, de esta forma acceder a la configuración, se debe Ingresar a las propiedades del protocolo de Internet IPv4 y configurar la opción de obtener una dirección IP mediante DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*) en la PC.

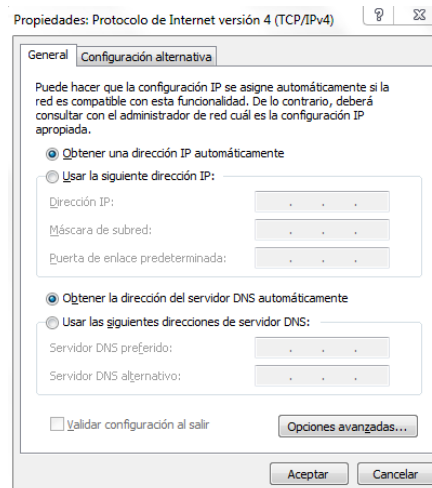


Figura 26. Configuración dirección IP.

Luego de ingresar al dispositivo a través del Browser (la dirección por defecto del dispositivo es <http://192.168.8.1>); para este caso, se asignó una dirección IP estática; con el propósito de que, cada vez que se conecte al Router, éste no asigne una dirección IP diferente y evitar problemas con los otros dispositivos conectados.

Se configuró la siguiente dirección IPv4 estática: <http://192.168.1.49>; para acceder se debe ingresar el usuario y contraseña, que por defecto se establece para los dos casos como "*admin*".

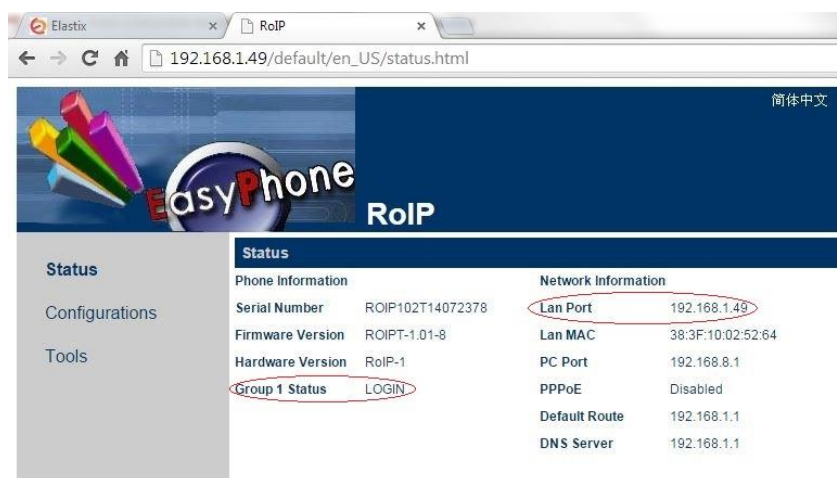


Figura 27. Acceso al dispositivo RoIP mediante Browser.

Al acceder al dispositivo RoIP a través del Browser, se puede apreciar el estado (status) del mismo; en este menú no se pueden modificar los parámetros, son solo de carácter informativo.

Dentro de los parámetros más relevantes están: *Lan Port* que muestra la dirección IP del dispositivo y *Group 1 Status* que indica el estado del dispositivo (LOGIN: Conexión establecida, LOGOUT: No existe conexión al sistema).

b. Configuración del dispositivo RoIP

Para configurar el dispositivo se debe ingresar en el menú de configuración, para este caso de estudio se asignaron los parámetros que se muestran en la figura 28.

The screenshot shows the 'EasyPhone RoIP' configuration web interface. The browser address bar indicates the URL '192.168.1.49/default/en_US/config.html'. The interface is divided into a left sidebar with navigation links and a main content area with several configuration sections.

Left Sidebar:

- Status
- Configurations
 - Preferences
 - Network
 - Call Settings
 - PTT Settings
 - Recorder Settings
 - Broadcasting Settings
 - Group Codec Settings
- Tools

Main Content Area:

- Preference:**
 - Language(语言): English
 - Time Zone: GMT+8
 - Time Server: pool.ntp.org
 - Reboot Time: 01:00
 - Auto Reboot: ☒
 - DDNS: ☐
 - RoIP Registration Mode: Peer
 - Remote Control>>
- Network Configuration:**
 - LAN Port: Static IP
 - IP Address: 192.168.1.49
 - Subnet Mask(optional): 255.255.255.192
 - Default Route: 192.168.1.1
 - Primary DNS: 192.168.1.1
 - Secondary DNS(optional): 8.8.8.8
 - PC Port: Static IP
 - IP Address: 192.168.8.1
 - Subnet Mask: 255.255.255.0
 - DHCP Server: ☒ Enable ☐ Disable
 - Starting Address: 192.168.8.100
 - Ending Address: 192.168.8.120
 - Static DNS(optional):
- Call Settings:**
 - Group 1 (selected)
 - Group SIP Number: 2001
 - SIP Proxy: 192.168.1.50
 - Register Expiry(s): 300
 - Authentication ID: 2001
 - Password: *****
 - Auto Dial Number:
 - Hot Line Number: 2006
 - Advanced>>
 - Media Settings>>
- PTT Settings:**
 - PTT1 (selected)
 - PTT Dial: ☒ Enable ☐ Disable
 - PTT Dialing Interval: 10000
 - Input Active Level: 0
 - Output Active Level: 0
 - PTT Output Expiry(s): 60
 - PTT Output Release Mode: Always Release
 - PTT Output Release Interval(s): 3
 - PTT as Master: ☐
- Recorder Settings:**
 - Group 1 (selected)
 - Recorder Address:
- Broadcasting Settings:**
 - Broadcasting On Password:
 - Broadcasting On Expiry:
 - Broadcasting Off Password:

Figura 28. Configuración dispositivo RoIP

En la configuración de la red (*Network Configuration*), se estableció parámetros de la red LAN del servidor VoIP; en lo correspondiente a Mascara, Puerta de Enlace y DNS se configuró con los mismos datos.

En ajustes de llamadas (*Call Settings*) se establecieron los siguientes parámetros:

- *Group SIP Number:* 2001, valor único que identifica al RoIP, es recomendable que sea el mismo número de extensión asignado en el servidor de VoIP.
- *SIP Proxy:* 192.168.1.50, dirección IPv4 pública del servidor de VoIP.

- *Register Expiry(s)*: 300, valor por defecto.
- *Authentication ID*: 2001, extensión creada en el servidor de VoIP para este dispositivo.
- *Password*: Contraseña asignada en el servidor VoIP para la extensión de este dispositivo.
- *Auto Dial Number*: Sin valor.
- *Hot Line Number*: 2006, extensión a la cual el dispositivo RoIP realizará una llamada. Este parámetro se configura para la comunicación desde cualquier dispositivo de radio frecuencia hacia un dispositivo de la red IP (teléfono IP o *softphone*). Para este caso se configuró la extensión del *softphone* instalado en el dispositivo móvil (iPhone 5).

En ajustes de *Push To Talk* (*PPT Settings*) lo más relevante es configurar *PPT Dial* en modo *Enable*; se configuro *Input active level* y *Output active level* en 0, esto quiere decir que se activa en bajo, cuando recibe una señal correspondiente a un 0 Lógico (0 voltios) y permanece normalmente en 1 lógico (5 voltios); y, *PPT Output Release Interval(s)* en este caso se configuró en 3, que es el número de veces que se deberá presionar el PPT del equipo terminal de radio frecuencia *handy* para comunicarse con el dispositivo IP (*softphone* en iPhone) configurado en *Hot line Number* (2006); los demás parámetros se mantienen los que vienen por defecto.

c. Instalación física del dispositivo RoIP

De acuerdo al Manual de RoIP, para configurar y conectar el dispositivo RoIP se consideró que: los puertos SWITCH y LAN quedan libres, el puerto LAN se lo usa únicamente para configuración, desde el puerto WAN se conecta hacia el Router, desde el puerto CHANNEL hacia la radio base y el conector 12V DC hacia una conexión de suministro de energía eléctrica. En la figura 29 se presenta la disponibilidad de conexiones del equipo.

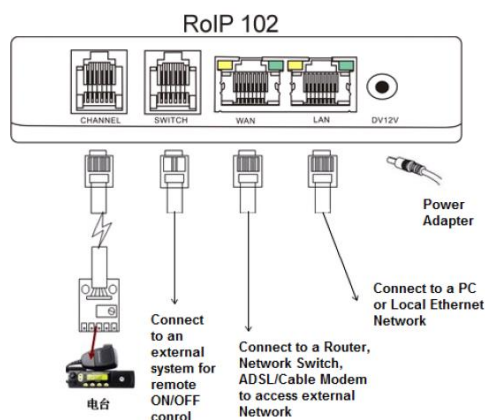


Figura 29. Disponibilidad de conexiones del RoIP 102²³.

²³ Figura obtenida del manual de usuario del equipo "Cross-Network Gateway", modelo RoIP102, que se anexa al presente documento.

Para la conexión con la radio base se debe considerar el diagrama de pines del conector RJ – 11 del puerto CHANNEL que se presenta en la figura 30.

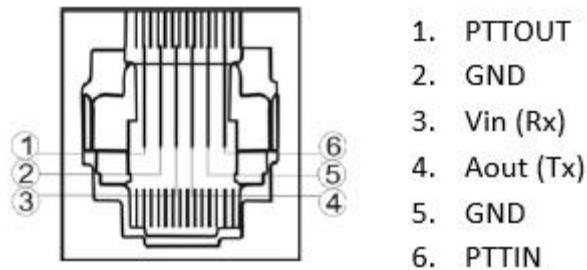


Figura 30. Diagrama de pines del conector CHANNEL (RJ – 11)²⁴.

- Indicadores de estado a través de LED

En la parte superior del dispositivo RoIP 102, como se muestra en la figura 31 tiene un componente para indicar el estado del equipo RoIP, este componente tiene 2 LED uno de color rojo y otro de color verde.



Figura 31. LEDs RoIP 102

Cuando el led del color rojo parpadea rápidamente 4 veces, indica que el dispositivo RoIP no está conectado al sistema.

Cuando el led de color rojo parpadea pausadamente 2 veces, indica que se autenticó con el servidor de VoIP y se estableció la conexión.

El Led de color verde se enciende cuando el dispositivo RoIP está transmitiendo o recibiendo; esto es, cuando se presiona el botón PPT del equipo terminal (*handy*), este indicativo permite comprobar que existe comunicación entre el sistema de radio frecuencia con la red IP.

²⁴ Figura obtenida del manual de usuario del equipo “Cross-Network Gateway”, modelo RoIP102, que se anexa al presente documento.

5.4.6. RADIO BASE MOTOROLA

Considerando que la radio base Motorola XTL 1500 que se usó para este caso de estudio es utilizada por la Policía Nacional para seguridad ciudadana; la institución mantiene protocolos de seguridad que no permiten la manipulación del software por terceros, incluso manejan llaves digitales.

Sin embargo, se pudo presenciar la configuración y los principales parámetros establecidos son:

Accessory Configuration

- *Accessory Power Up Delay (ms): 1000*
- *Debounce Duration (ms): 100*
- *External Alarm Duration (sec): 1*
- *External Alarm Delay (sec): 0*
- *Rx Audio Type: Filtered Audio*
- *Data PTT Audio Source: Flat Tx Audio*
- *Ext. PTT Audio Source: Ext Mic Audio*
- *Ignition Sense Type: On/Off & Ignition*

Accessory Pins

- *Accessory Package: Default*
- *Pin # 13: CHAN ACT, active level: Low, debounce: enable²⁵*
- *Pin #16: AUX PPT, active level: Low, debounce: enable*

El resto de parámetros en lo relacionado a la configuración de frecuencias no se modificaron.

Finalmente, a la radio base Motorola XTL 1500 se configuró con los siguientes canales:

- CANAL SIMPLEX (canal 1), para comunicación punto a punto, para este caso se utilizó para comunicarse entre la radio base y el equipo terminal (*handy*).

²⁵ De acuerdo al manual del XTL 1500, éste Pin es usado para indicar la detección de salida de 0-5 voltios y únicamente se activa en bajo (0 lógico).



Figura 32. Canal SIMPLEX configurado.

- CANAL P-OPESQ1 (canal 2), para comunicación punto a multipunto, para este caso se utilizó para comunicarse con varios radios a través del servicio troncalizado.



Figura 33. Canal SIMPLEX configurado.

De acuerdo al manual de instalación de la radio base Motorola XTL 1500, en la figura 34 se presenta el diagrama del cableado para las posibles conexiones.

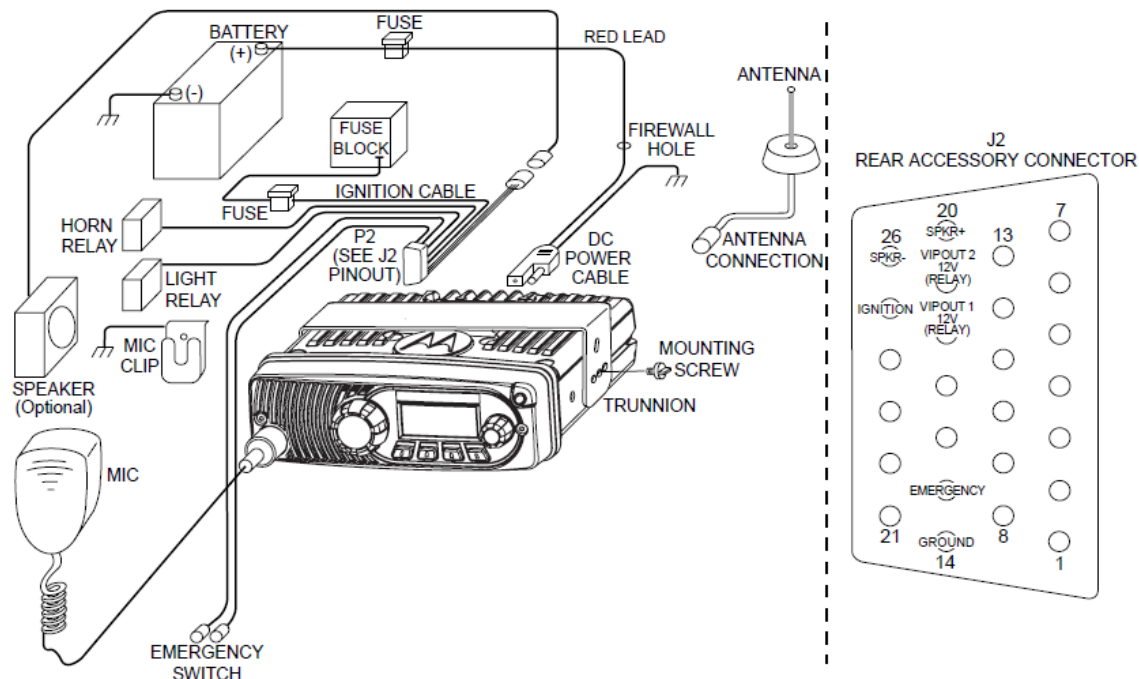


Figura 34. Diagrama de cableado radio base XTL 1500²⁶.

Al conector *J2 REAR ACCESSORY CONNECTOR* se conectó el dispositivo RoIP con la radio base, en la figura 35 se presenta la distribución de pines.

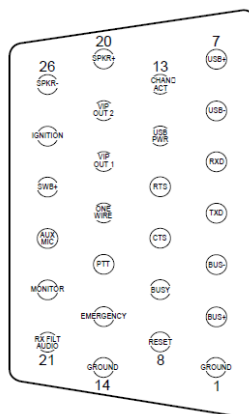


Figura 35. Diagrama de pines del J2 REAR ACCESSORY CONNECTOR²⁷.

²⁶ Figura obtenida del manual de instalación del equipo "ASTRO XTL 1500 DIGITAL MOBILE RADIO", que se anexa al presente documento.

²⁷ Figura obtenida del manual de instalación del equipo "ASTRO XTL 1500 DIGITAL MOBILE RADIO", que se anexa al presente documento.

5.4.7. EQUIPO TERMINAL (*HANDY*)

El equipo terminal (*handy*) Motorola XTS 2250 se configuró con los siguientes canales:

- CANAL SIMPLEX (canal 1), para comunicación punto a punto, para este caso se utilizó para comunicarse entre la radio base y el equipo terminal (*handy*).
- CANAL P-OPESQ1 (canal 2), para comunicación punto a multipunto, para este caso se utilizará para comunicarse con varios radios a través del servicio troncalizado.



Figura 36. Canales configurados equipo terminal (*Handy*)²⁸.

5.5. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ALTERNATIVO Y/O COMPLEMENTARIO DE ROIP

Como se presentó en el segundo capítulo del presente documento, los equipos RoIP pueden conectar redes que manejen la familia de protocolos TCP/IP con sistemas de radio frecuencia, para este caso de estudio, como se visualiza en la figura 37, se plantea la conexión de una red LAN con un sistema troncalizado mediante la radio base Motorola XTL 1500.

²⁸ Figura obtenida de la Guía de Usuario del equipo terminal Handy "ASTRO XTS 1500 DIGITAL PORTABLE RADIO", que se anexa al presente documento.

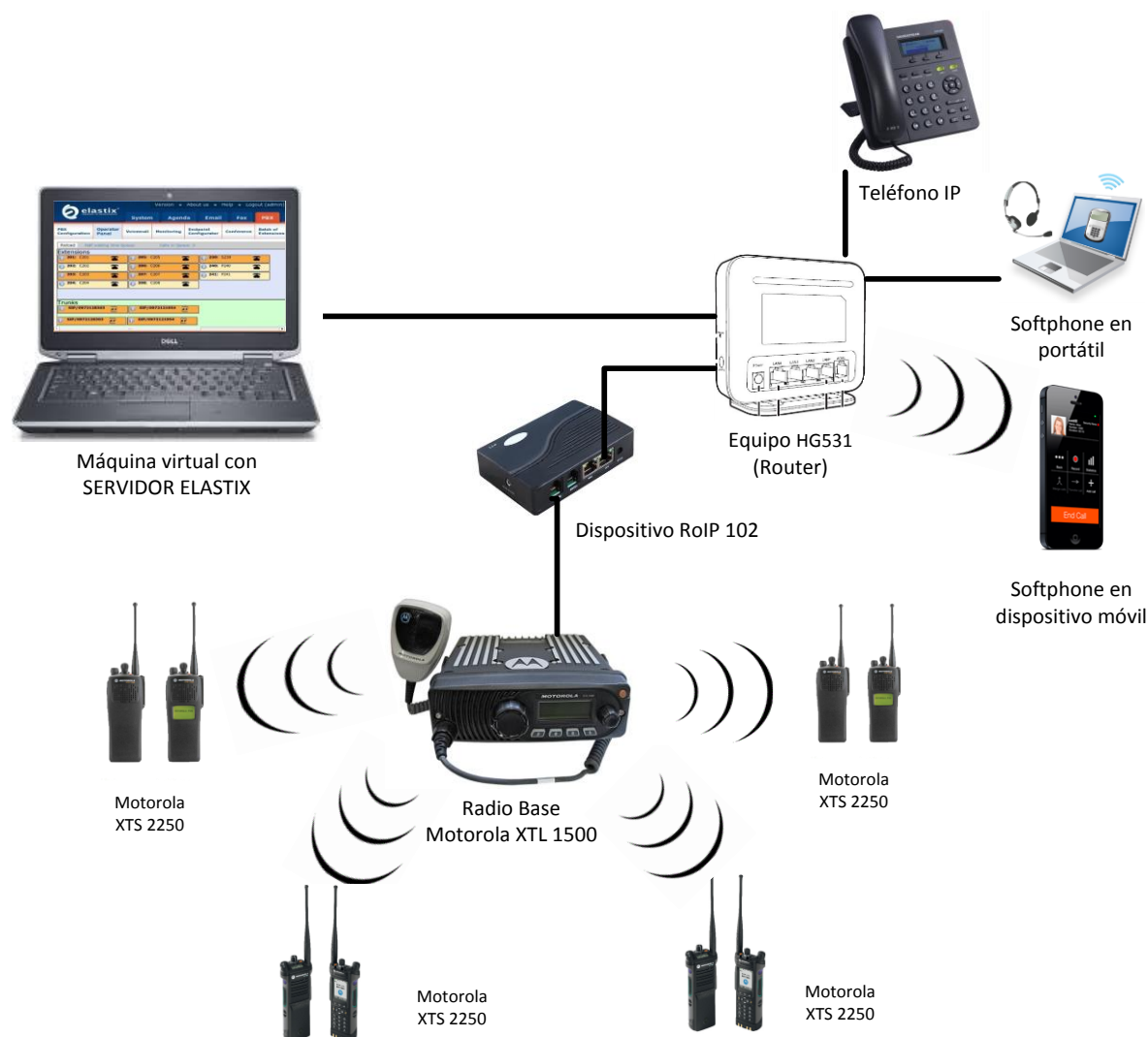


Figura 37. Diagrama de conexión propuesto para la implementación.

La red IP se conectó de la siguiente manera:

- Computadora con servidor Elastix a través de un cable Ethernet con el Router HG531.
- Teléfono IP a través de un cable Ethernet con el Router HG531.
- *Softphone* en PC a través de un cable Ethernet con el Router HG531.
- *Softphone* en dispositivo móvil a través de Wi – Fi con el Router HG531.
- Equipo RoIP desde el puerto WLAN a través de cable Ethernet con el Router HG531.

En lo referente a interoperabilidad entre la red IP con la red de radio frecuencia, de manera general, lo único que se necesita es la conexión de Transmisión (TX) y Recepción (RX) de audio y las señales de control PTT y COR.

Para realizar la comunicación entre el dispositivo de radiocomunicaciones se deben interconectar los siguientes pines:

a. SEÑALES DE AUDIO

- TX-RX: De manera análoga, el audio a transmitir se enviará mediante el RoIP para ser recibido por cualquier dispositivo conectado a la red; Por lo tanto, el pin de transmisión del radio debe conectarse al pin de recepción del RoIP; para la radio base Motorola XTL 1500, de acuerdo al manual para este fin se utilizó el PIN 23, que tiene la función AUX MIC (*Rear microphone input*)²⁹.
- RX-TX: La señal de audio que sea transmitida a través de la infraestructura de red IP será enviada mediante el dispositivo RoIP al canal de recepción del radio; por lo tanto, el pin de transmisión del RoIP debe conectarse al pin de recepción del radio; para la radio base Motorola XTL 1500, de acuerdo al manual para este fin se utilizó el PIN 21, que tiene la función RX FILT AUDIO (*Receive Filtered Audio Out*)³⁰.

b. SEÑALES DE CONTROL

- COR-PTTin: El COR (*Carrier Operated Relay*) es una señal de recepción que proporciona una indicación positiva de que una señal está siendo recibida y que el receptor no está en modo *squelch* (El *squelch* es una función de los equipos de radio frecuencia que permite limitar los ruidos de fondo de la señal de radio, silenciándolos.). Básicamente el COR es una aplicación que se encuentra haciendo un monitoreo y enciende el radio cuando se genera una señal. La función *squelch* actúa para suprimir la salida de audio de un radio receptor en la ausencia de una señal de entrada lo suficientemente fuerte. Se usa para suprimir el ruido de canal cuando el radio no está recibiendo una señal.

En estas condiciones, el radio debe tener la habilidad de crear el COR. Si la radio no proporciona la señal COR, un circuito VOX (*Voice Operated eXchange*) puede ser usado para detectar el momento en que la señal que se está recibiendo excede un nivel umbral, que puede ser adaptado a diferentes condiciones. Esta función generalmente reemplaza los botones *Push To Talk* de los radios transmisores y se usa para encender un transmisor o grabador cuando alguien comienza a hablar y apagarlo cuando la señal de voz se detiene.

²⁹ Descripción AUX MIC en el manual XTL 1500: "This microphone signal is independent of the microphone signal on the front microphone connector. The nominal input level is 80mVrms for 60% deviation when used for motorcycle, but can also support 300 mVrms for future APCO accessories. The DC impedance is 1560 ohms and the AC impedance is 560 ohms, 1 Vrms max. 9V DC with no input load."

³⁰ Descripción RX FILT AUDIO en el manual XTL 1500: "This is a fixed level (independent of volume level) received audio signal, including alert tones. Flat or de-emphasis are programmed by CPS. Output voltage is approximately 100 mVrms per 1kHz of deviation. The DC offset is 1.4V."

Cuando se genere una comunicación en la red destinada para el dispositivo de radio; el dispositivo RoIP debe activar el COR del radio receptor para que el audio sea recibido. El pin del RoIP que se destina para esta señalización se denomina PTTin y debe conectarse al pin COR del radio receptor; para la radio base Motorola XTL 1500, de acuerdo al manual para este fin se utiliza el PIN 13, que tiene la función CHAN ACT (*Channel Activity*)³¹.

- PTT-PTTout: De manera análoga, la señal *Push To Talk* del radio transmisor debe interpretarse a la red como un requerimiento de iniciar la comunicación con otro dispositivo perteneciente a esa red. Por lo tanto, el pin de señalización PTT del radio debe conectarse al pin PTTout del dispositivo RoIP; para la radio base Motorola XTL 1500, de acuerdo al manual para este fin se utiliza el PIN 16, que tiene la función AUX PTT (*Push To Talk*)³².

GND-GND: Finalmente, con la intención de mantener coherencia en las conexiones eléctricas, los pines de referencia a tierra de ambos dispositivos deben interconectarse entre sí; para la radio base Motorola XTL 1500, de acuerdo al manual para este fin se utiliza los *PINES 1 y 14* que tienen la función GROUND.

Tomando en cuenta este último punto, se deben considerar además ciertos detalles, como por ejemplo:

- El dispositivo RoIP soporta ciertos niveles de voltaje y corriente en los pines de entrada mencionados anteriormente, debe existir concordancia entre los niveles soportados y aquellos que provienen de las conexiones de radio; de otro modo, pueden requerirse de circuitos interfase adicionales y configuraciones en el *firmware* de los dispositivos.
- Debe considerarse prioritariamente las conexiones a tierra y polaridades.
- Los tonos de señalización diferentes a los estándares puede que no sean soportados por el dispositivo RoIP.

En base a lo expuesto, el diagrama básico de interconexión entre la Radio Base Motorola XTL 1500 y el RoIP 102, se presenta en la figura 38.

³¹ Descripción CHAN ACT en el manual XTL 1500: "This is a 0-5 volt output used for indicating detection/unsquelching of a qualified received signal. As of the release of this manual only UHF R2 is APCO compliant active low."

³² Descripción AUX PTT en el manual XTL 1500: "Pulling this line to ground will activate PPT function normally selecting the AUX_MIC input."

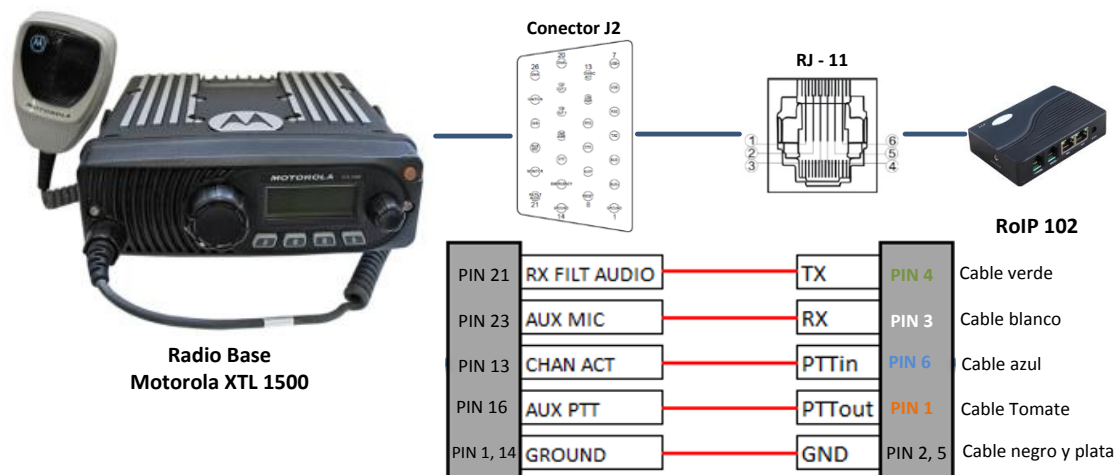


Figura 38. Diagrama de conexión entre Radio Base y RoIP102

Debido a que se requiere un cable específico para este caso de estudio, de acuerdo al manual de RoIP 102 y al manual de la radio base Motorola XTL 1500, se armó al cable con los conectores que se muestra en la figura 39.



Figura 39. Cable armado con conector J2 (izquierda) y RJ - 11 (derecha).

En la figura 40, se presenta una fotografía del sistema implementado; en el cual se puede observar los equipos utilizados, los cuales fueron descritos en el punto 5.3. De esta forma el sistema alternativo/complementario estuvo listo para las pruebas.



Figura 40. Sistema Implementado.

5.6. PRUEBAS DEL SISTEMA IMPLEMENTADO Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS

En primer lugar se corrió el servidor Elastix desde la máquina virtual, luego se ingresó a través del Internet Browser con la dirección IP 192.168.2.50; para comprobar que los dispositivos del sistema están configurados y habilitados en el servidor de VoIP, se puede visualizar en el menú *“Operator Panel”* las extensiones conectadas y habilitadas; como se observa en la figura 41, para este caso son la extensión: 2001 (RoIP), 2004 (Teléfono IP), 2005 (PC) y 2006 (IPHONE); existen varios indicadores de muestran que está funcionando, como son: en la parte superior izquierda está en color verde la palabra *“Connected”*, las extensiones conectadas están sombreadas a diferencia de las demás; y, si se coloca el cursor en cualquiera de ellas indica la extensión y la dirección IP asociada.

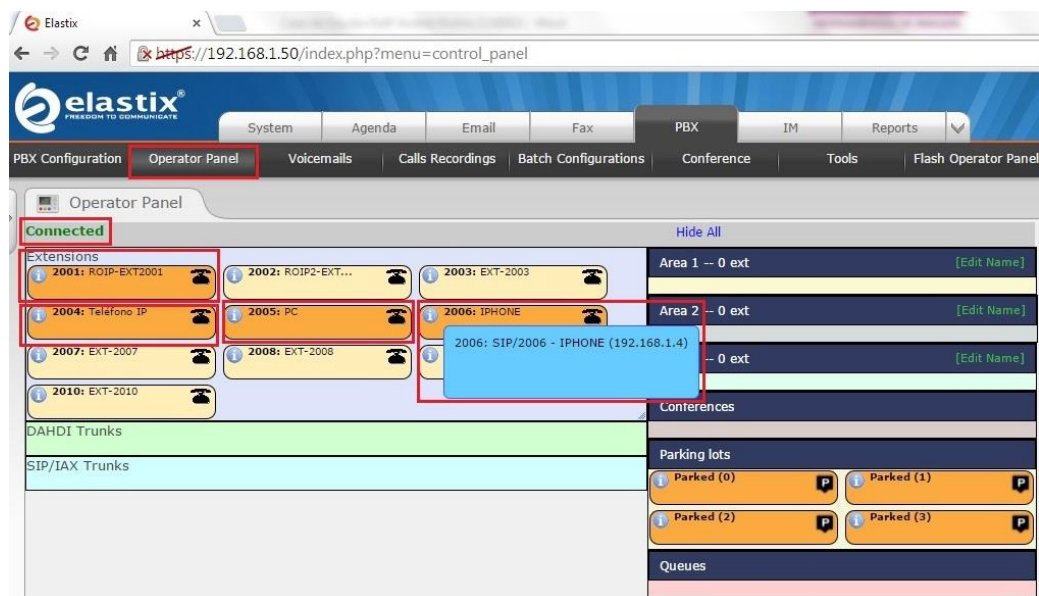


Figura 41. Extensiones configuradas y habilitadas.

Para comprobar que el dispositivo RoIP está funcionando se ingresa a través de la dirección IP 192.168.2.49, en el menú “Status” se verifica los datos configurados y como se muestra en la figura 42 en el campo “Group 1 Status” debe estar la palabra LOGIN.

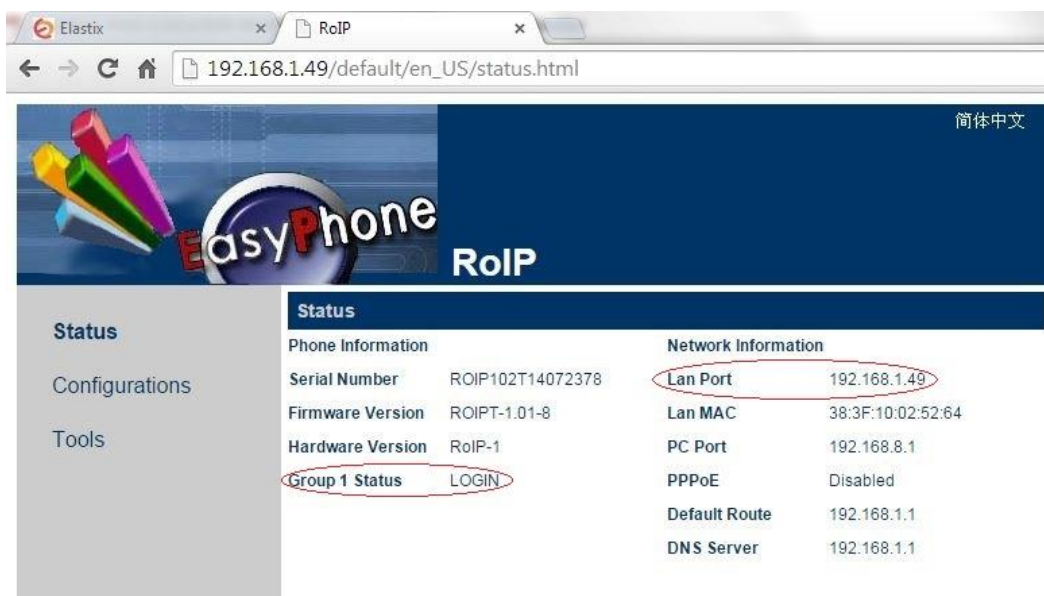


Figura 42. Estado del RoIP a través del Internet Browser.

También, se debe verificar en el componente para indicar el estado del RoIP, que el led rojo este parpadeando de forma pausada; en la figura 43 se muestra el led rojo encendido.



Figura 43. Estado del RoIP a través del led indicador rojo.

Para comprobar que el dispositivo RoIP está transmitiendo o recibiendo, cuando se presiona el botón PPT *Push To Talk* del *handy* se debe encender el led verde, como se muestra en la figura 44.



Figura 44. Estado del RoIP a través del led indicador verde.

Para verificar que el teléfono IP está listo para las pruebas, se ingresó a la dirección IP 192.168.1.3, y en el menú “Estado de la cuenta” muestra el número de extensión asignada, la dirección IP del servidor de VoIP asociado (192.168.1.50) y en color verde si está habilitado, como se muestra en la figura 45.



Figura 45. Estado de la cuenta Internet Browser teléfono IP.

También se debe verificar en la pantalla del teléfono IP, esté habilitado y la dirección asignada sea la misma que de la figura 45 (192.168.1.3), como se muestra en la figura 46.

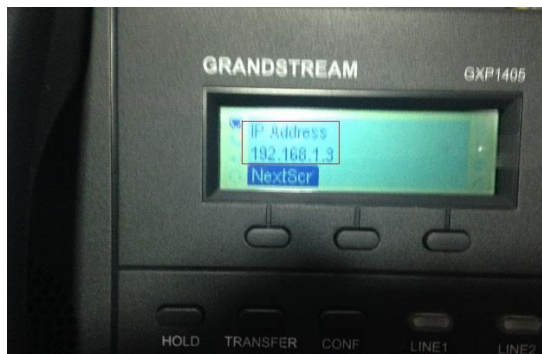


Figura 46. Dirección IP asignada en el teléfono.

Para verificar que el *softphone* en la PC está listo para las pruebas, se ingresó al menú “Preferences” de Zoiper y en la parte superior izquierda se presentó el número de extensión asignada y la dirección IP del servidor de VoIP asociado con un visto verde, como se muestra en la figura 47.

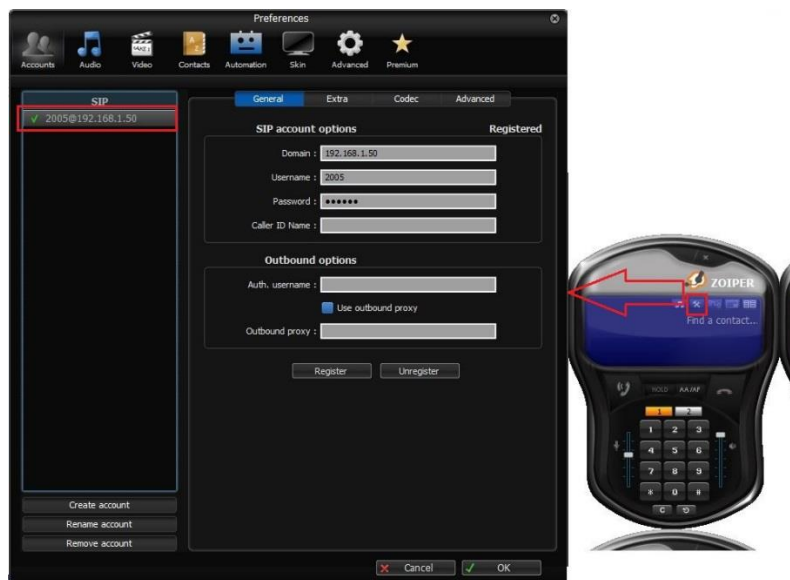


Figura 47. Verificación de que el *softphone* de la PC está habilitado.

Para verificar que el *softphone* del dispositivo móvil está listo para las pruebas, se ingresó al aplicativo de Zoiper y en el menú “Ajustes/Cuentas SIP” en la parte de “Estado de Registro” este la palabra OK y en la parte de seleccionar el teclado, debe estar en la parte superior la palabra disponible en letras verdes, como se muestra en la figura 48.

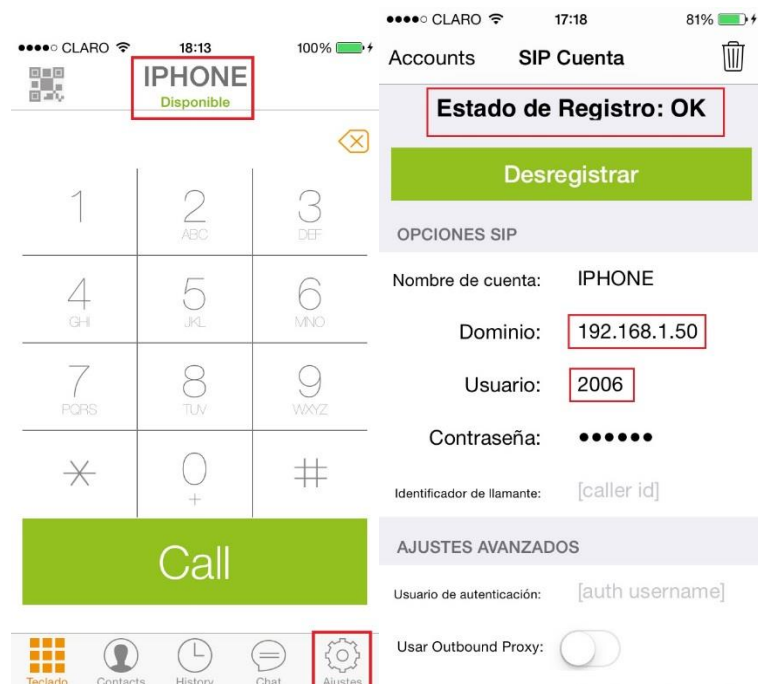


Figura 48. Verificación de que el *softphone* en el dispositivo móvil está habilitado.

En la radio base Motorola XTL 1500 y en el equipo terminal (*handy*) XTS 2250, se verificó que estén habilitados en el canal 1 el modo SIMPLEX y el canal 2 el modo P-OPESQ1, como se muestra en la figura 49.



Figura 49. Canales configurados en radio base y equipo terminal (*handy*).

Una vez, que se validó que todos los dispositivos están listos para establecer las comunicaciones entre la Red IP con la Red de radio frecuencia, se debe considerar que para interactuar entre un dispositivo IP (teléfono IP/*softphone*) con un equipo terminal de radio

frecuencia (radio base/*handy*); se emula el botón PPT ó *Push To Talk*, presionado en el teclado el número 1 para transmitir (Tx) y el número 0 para recibir (Rx).

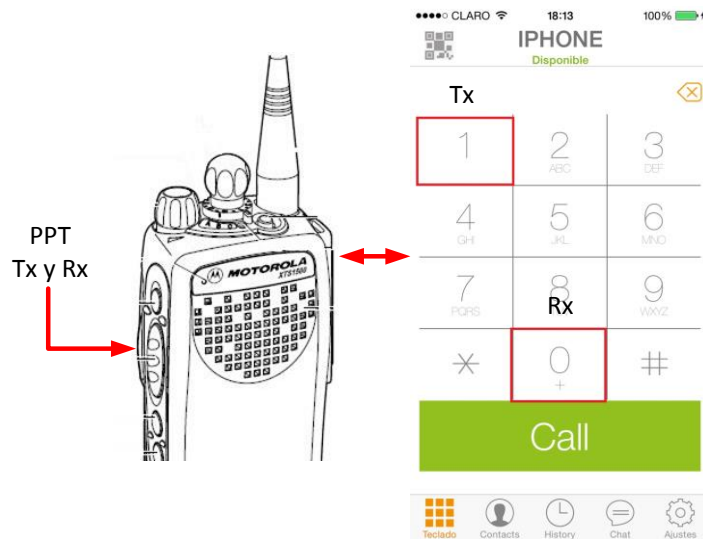


Figura 49. Transmisión y Recepción en dispositivos.

Se realizaron 2 tipos de pruebas:

- PUNTO A PUNTO, se establece la comunicación solo entre 2 dispositivos; para lo cual, se colocó la radio base y el *handy* en el canal 1 (SIMPLEX).
- PUNTO A MULTI – PUNTO, se establece la comunicación entre varios dispositivos (1 dispositivo transmite y reciben la información 2 o más / sistema troncalizado); para lo cual, se colocó la radio base y el *handy* en el canal 2 (P-OPESQ1).

Para las pruebas Punto a Punto y Punto a Multi – Punto, se estableció comunicaciones de la siguiente manera:

- Entre *softhphone* en PC y *softhphone* en dispositivo móvil.
- Entre *softhphone* en PC y teléfono IP.
- Entre *softhphone* en dispositivo móvil y teléfono IP.
- Entre *softhphone* en PC y equipo terminal (*handy*)
- Entre *softhphone* en dispositivo móvil y equipo terminal (*handy*)
- Entre teléfono IP y equipo terminal (*handy*)

Para comunicarse con la radio base o con el *handy* desde *softhphone* en PC / *softhphone* en dispositivo móvil / teléfono IP se marcó la extensión 2001 que fue configurada al RoIP, de

esta forma se estableció la llamada y posteriormente se marcaba 1 para transmitir y 0 para recibir.

Para comunicarse con el *softphone* en PC / *softphone* en dispositivo móvil / teléfono IP desde la radio base o el *handy*, de acuerdo a lo que se configuro en el punto 4.4.2, se presionó por tres ocasiones el botón PPP Push To Talk del *handy*; posteriormente, el RoIP direccionó la llamada al *softphone* del dispositivo móvil. Se realizó la misma prueba configurando en el dispositivo RoIP, para que se direcciona la llamada a los demás dispositivos de la Red IP (*softphone* en PC y teléfono IP).

En todos los casos la interacción entre los dispositivos del sistema planteado fue exitosa.

Con el propósito de analizar las comunicaciones establecidas se utilizó el software *Wireshark*; este software es bastante intuitivo y didáctico, cuando se inicia éste programa captura todo el tráfico que pasa por la red y permite analizar los protocolos utilizados; el mismo que, presenta funcionalidades que aparte de mostrar de una manera gráfica los datos (estadísticas), permite organizar, filtrar la información e incluso para VoIP permite reproducir el audio cursado.

En este caso, se inició el software *Wireshark* y se estableció la comunicación entre el equipo terminal *handy* y el *softphone* en la PC; se debe considerar que el *handy* para comunicarse con la red IP utiliza el dispositivo RoIP; en este sentido, interactuarán los siguientes datos:

- Equipo RoIP: 2001 (extensión asignada) y 192.168.1.49 (dirección IP).
- *Softphone* en PC: 2005 (extensión asignada) y 192.168.1.2 (dirección IP).
- Servidor Elastix: 192.168.1.50 (dirección IP)

Con el propósito de analizar los principales protocolos utilizados, se utilizó la información que se capturó cuando se transmitió desde el *handy* hacia el *softphone* en la PC; para esto, se estableció la llamada entre la extensión 2005 y 2001, luego de establecida la llamada, en el *handy* se presionó el botón *Push To Talk* y en el teclado del *softphone* en la PC se presionó el 0.

Como se mencionó anteriormente, el software *Wireshark* permite visualizar de manera gráfica los paquetes cursados; en este caso, se utilizó la funcionalidad de estadísticas, ingresando en el menú superior a *Statistics* y seleccionando la opción *IO Graphs*. En la figura 50 se observa que en el punto 02:15:18 se establece la llamada; sin embargo, la comunicación inicia en el punto 02:15:28 que fue cuando se presionó el número 0 en el teclado, esto se puede comprobar con el protocolo RTP EVENT que indica a través de la señal DTMF (*Dual-Tone Multi-Frequency*) que se marcó el 0.

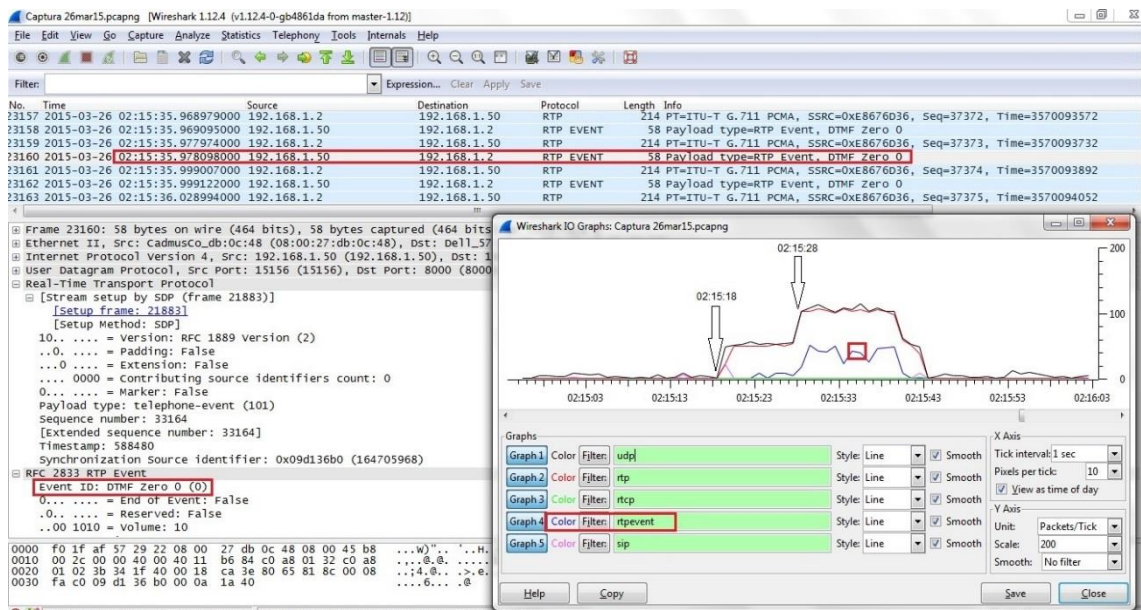


Figura 50. Información capturada en comunicación entre *handy* y softphone en PC.

En lo referente al protocolo SIP, como se indica en la figura 51, se verifica que es un protocolo de señalización utilizado para iniciar una sesión y que luego de establecida la llamada los miembros de la sesión intercambian directamente los datos a través del protocolo RTP; como se observa, este protocolo establece la llamada y libera recursos. También se puede visualizar en la figura 51, que se establece la llamada entre la extensión 2001 y 2005.

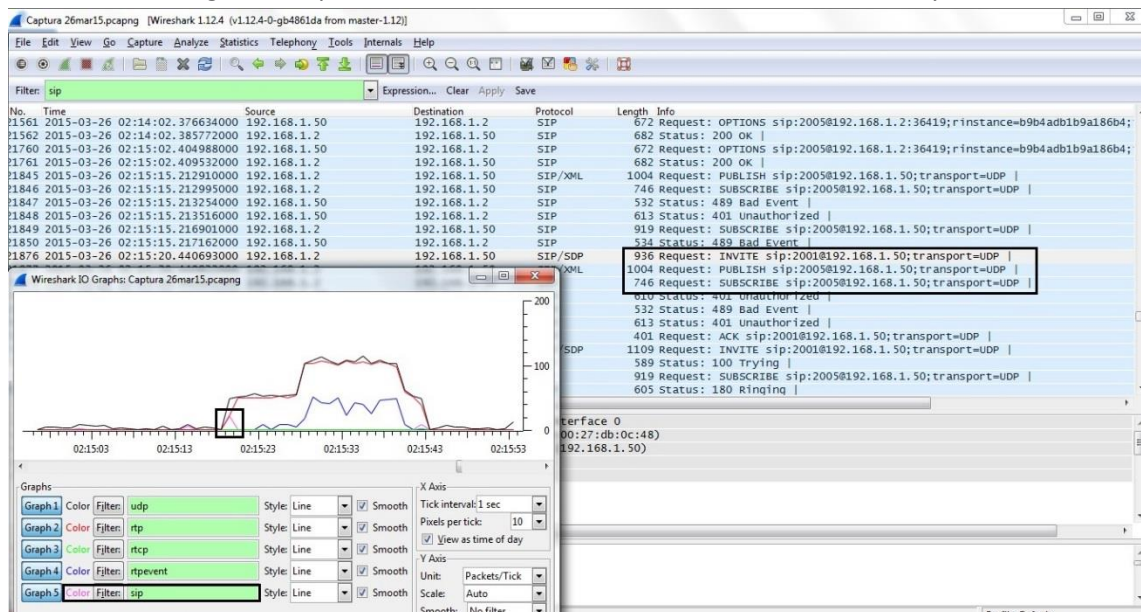


Figura 51. Interacción de Protocolo SIP.

En la figura 52 se puede verificar que el protocolo RTP transporta los datos en tiempo real; en la trama se puede verificar que asigna el tipo de carga, número de secuencia, etiqueta de tiempo (*timestamp*), identificador de fuente de sincronización y la carga; adicionalmente, se comprueba que los datos de voz están encapsulados en un segmento UDP.

También, se observa que la codificación de audio utilizada es G.711 y que el protocolo RTP casi no emplea recursos; puesto que, como se mencionó en el punto 5.2.2., éste protocolo únicamente monitorea la calidad de servicio y entrega información sobre las partes que intervienen en la comunicación.

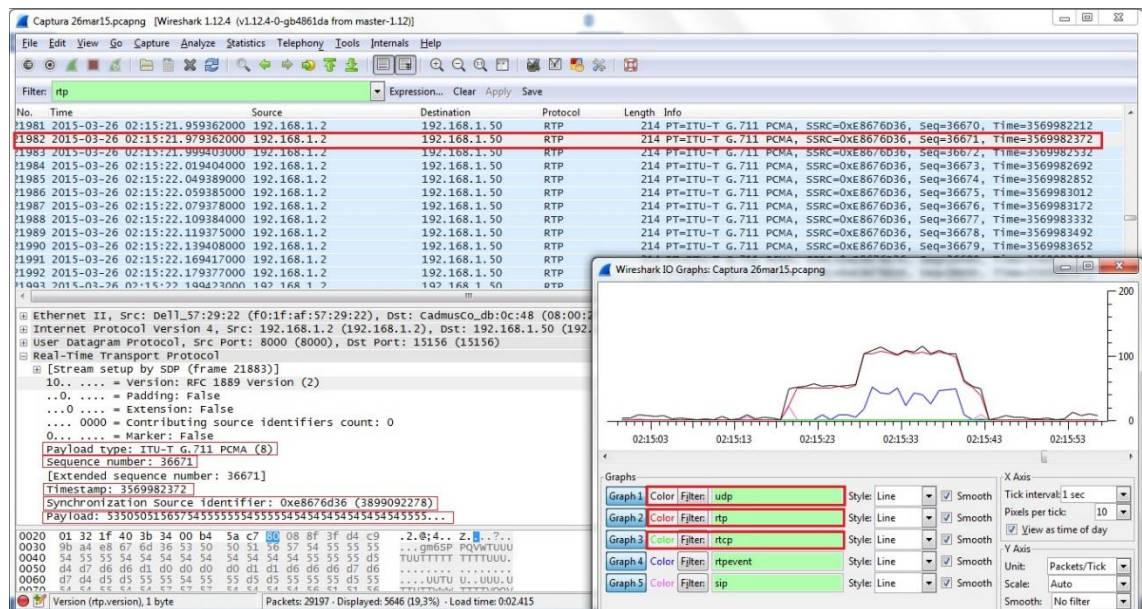


Figura 52. Interacción de Protocolo RTP, RTPC y UDP.

6. Conclusiones y Recomendaciones

6.1. Conclusiones

- Se implementó un sistema basado en RoIP; el cual, demuestra que es posible comunicarse entre sistemas de radio frecuencia y sistemas que soportan redes IP a bajo costo, en este caso de estudio se estableció la comunicación entre una red LAN privada sin acceso a internet con un sistema troncalizado; con los mismos principios se podría realizar la configuración respectiva, para establecer la interoperabilidad entre redes a través del Internet. Esto permitiría la interoperabilidad entre diferentes redes de comunicación; aprovechando y optimizando las redes existentes y la infraestructura implementada que soporta IP, lo que permite solventar problemas como falta de cobertura y saturación de canales de transmisión con soluciones más económicas.
- Ésta solución podría ser utilizada para las comunicaciones entre las instituciones que bajo su responsabilidad este la seguridad integral, control de tránsito y prestación de servicios de emergencias; que actualmente, por la diversidad de tecnologías utilizadas no pueden interoperar; está propuesta se torna más importante, en casos

de desastres de gran magnitud que son situaciones que los sistemas convencionales de comunicación colapsan.

- En este caso de estudio se logró establecer la comunicación entre un sistema de RoIP y la Red Nacional Troncalizado que es utilizado para seguridad integral, control de tránsito y prestación de servicios de emergencias, este servicio troncalizado por su importancia y al ser de misión crítica usa un sistema propietario que maneja protocolos de seguridad para la configuración y manipulación de equipos, que sin la respectiva autorización no se los podría utilizar, incluso manejan llaves digitales físicas. De esta forma, se podría afirmar que cualquier otro sistema de radio frecuencia se puede integrar a través de RoIP; debido a que, para los demás sistemas, como son sistemas HF, VHF y sistemas troncalizados comerciales la configuración y manipulación de equipos es más accesible.
- El factor más importante a considerar en la implementación de un sistema de radio frecuencia es la disponibilidad y uso eficiente del espectro radioeléctrico; debido a que, éste es un recurso natural y limitado; en lo referente a la situación del espectro radioeléctrico en el Ecuador, se evidenció que existe disponibilidad en las bandas VHF (138-144 y 148-174 MHz) y UHF (440-512 MHz); en contraste, con la banda destinada para servicios troncalizados UHF (806 – 824 MHz, 851 – 869 MHz, 896 – 898 MHz), que solo en el porcentaje de uso por empresas privadas casi alcanza el 50% en ciudades como Quito y Guayaquil; y, el número de abonados es de 25.109; en lo que respecta, a la Red Nacional Troncalizada, que utiliza la misma banda, presenta a nivel nacional 23.272 abonados; por lo cual, el número de abonados casi se duplica, esto implicaría que el uso de esta banda estaría casi al límite.
- La principal ventaja de sistemas troncalizados es que comparten de forma automática cierto número de canales o vías de comunicación entre un gran número de usuarios, esta característica permite que estos sistemas sean más eficientes en la utilización del espectro; pero por otro lado son sistemas de comunicación de banda estrecha, con un alto costo de implementación y mantenimiento, que en su mayoría soportan telefonía y datos de baja velocidad, generalmente en anchos de banda de 25 KHz y en lo que respecta a servicios troncalizados para protección pública y operaciones de socorro existe un monopolio de la empresa que provee esta tecnología.
- Cualquier medida que se considere para optimizar el uso del espectro radioeléctrico representa un costo considerable; este puede ser económico, de calidad de servicio o de efectividad en la gestión operativa los usuarios; por lo cual, es necesario considerar medidas alternativas que no impliquen el uso del espectro radio eléctrico en estas bandas; que brinden con un alto nivel de escalabilidad, a bajos costos, con poca infraestructura técnica e interoperabilidad con diversas marcas.

- Los equipos RoIP comerciales (RoIP 102 y 302) tienen la misma funcionalidad de equipos integradores como los ACU1000, para interoperar entre sistemas de comunicaciones de radio frecuencia con sistemas que soportan el Protocolo IP; las principales consideraciones que se debe tomar en cuenta, es que los equipos integradores como los ACU1000 son más robustos (cumplen normas militares y de seguridad pública), presentan más servicios y son mucho más costosos que los equipos comerciales (en la relación de costo, aproximadamente equipos comerciales cuestan menos del 10 % de lo que cuesta un equipo integrador).
- Para solventar las desventajas de los equipos comerciales de RoIP, se puede invertir para armar en una estructura como repetidora en la que incluya una fuente de poder, espacio para un radio de comunicación con ventilación, que puede ser tipo rack de 19 pulgadas, o a su vez armar en un equipo tipo militar transportable; con esto, garantizamos mayor robustez al equipo; sin embargo, igual sería mucho más económico que los equipos integradores.
- La seguridad de los equipos integradores y RoIP está en la interfaz de aire; por ésta razón, es importante considerar que para la información que se curse a través de protocolos TCP/IP, se debe tomar las medidas de seguridad respectivas; como por ejemplo, establecer una conexión segura, si la comunicación se realizará por internet, se debe implementar una red privada virtual o VPN (*Virtual Private Network*) con certificados de seguridad y en caso de requerir mayor seguridad establecer un enlace dedicado.

6.2. Recomendaciones

- Se recomienda aplicar esta solución en la Red Nacional Troncalizada; para lo cual, se debe realizar un análisis previo, con el fin de que esta implementación no sature la actual red; en este sentido, la ampliación con la tecnología RoIP debe ser a nivel local, en ningún caso se debe utilizar en grupos de conversación a nivel nacional, puesto que ocuparía demasiados canales de la Red y podría colapsar. Para utilizar los equipos RoIP comerciales, sin tener que realizar ninguna mejora en robustez, ni en seguridad, se debe identificar situaciones en las no se requiera estas características; por ejemplo, comunicaciones para control de tránsito; debido a que, si se interceptan estas comunicaciones no tendría implicaciones relevantes.
- Se recomienda para futuros casos de estudio o proyectos de investigación, que se continúe trabajando la solución planteada; específicamente, en lo referente a mejorar los equipos de RoIP comerciales, para que sean más robustos, seguros y que brinden más servicios. Adicionalmente, se debería complementar con el análisis respectivo y el planteamiento de un modelo de manejo y gestión de redes de misión crítica; puesto que, es importante tener en cuenta que la gestión operativa de las

entidades que usan estas redes es dinámica; por ejemplo, para instituciones que bajo su responsabilidad esta la seguridad ciudadana como es la Policía Nacional; la asignación de rutas, patrullajes y operativos cambian frecuentemente; como resultado, este modelo entregará información que permitirá utilizar las redes troncalizadas existentes de una manera más óptima y eficiente; e, interactuar con soluciones como las planteadas en este caso de estudio.

- Considerando que la Red Nacional Troncalizada al ser de misión crítica, requiere una red de respaldo (back up) y que tiene falta de cobertura en zonas rurales y urbano marginales; se recomienda utilizar la solución planteada en este caso de estudio, por los bajos costos y la facilidad de implementación que implica.
- Se recomienda realizar las gestiones pertinentes con la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones y el Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, al ser los órganos competentes para el establecimiento de políticas y normativa en el sector de telecomunicaciones en el país; para establecer en la normativa correspondiente, que sea mandatorio la interoperabilidad entre las redes de protección pública y operaciones de socorro en situaciones de emergencia de gran magnitud; esta interoperabilidad se la puede realizar a través de la tecnología que consideren pertinente; sin embargo se recomienda, utilizar la solución planteada en este caso de estudio, debido a que es de bajo costo y se evidenció que funciona.
- Para el análisis y evaluación de redes IP, se recomienda la utilización de softwares intuitivos y didácticos, que capturan tráfico cursado; estos presentan funcionalidades que aparte de mostrar de una manera gráfica los datos (estadísticas), permite organizar, filtrar la información e incluso para VoIP permite reproducir el audio cursado; esto nos permite, aparte de tener a detalle la trazabilidad de la comunicación en cuanto a los protocolos utilizados desde el inicio hasta el final de la llamada; ayudan para solventar inconvenientes en el caso de que se presenten problemas en la comunicación.

Bibliografía:

- [1] Reglamento Interoperabilidad Sistemas Troncalizados Concesionados. (2011). Resolución del CONATEL 414. Registro oficial 504 de 02-ago-2011. Estado vigente.
- [2] Delgado, Pablo. (2010). EL USO DE BANDAS DE FRECUENCIA DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO PARA SISTEMAS DE PROTECCIÓN PÚBLICA Y AYUDA EN CASOS DE DESASTRES EN EL ECUADOR. Tesis Electrónica y Telecomunicaciones. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

- [3] Zarate, C, Henry., & Ortiz, Jorge, E., Ingenio Magno. (2013). Servicios en Comunicaciones de Emergencia. Revista Universidad Santo Tomas, Colombia.
- [4] Macareñas, Carlos. y Palma, Juan. (s. f.). Marconi, Investigación sobre ROIP y SDR para la enseñanza de las Radiocomunicaciones. Universidad de Cádiz, España, Página Web, último ingreso 11 de febrero de 2015, <http://marconi.uca.es/CISTI-MARCONI-DEFINITIVO-1.pdf>.
- [5] Castro, A., Olivieri, R., Fumagalli, L., Osaba, M., Echazú, F., y Bonke, M. (2014). Servidor de Comunicaciones Convergentes. Instituto Universitario del Ejército, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. Página Web, último ingreso 11 de febrero de 2015, http://www.researchgate.net/publication/268686131_2014_CONAISI_-_Servidor_de_Comunicaciones_Convergentes.
- [6] DBL Technology Limited. (2015). Manual de usuario de equipo, Cross-Network Gateway (Radio, VoIP, Public Announce). Página Web, último ingreso 11 de febrero de 2015, http://www.dbltek.com/pdf/user_manual-roip102.pdf.
- [7] Resolución 646 (Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones 2003). Protección pública y operaciones de socorro. Resolución del Sector de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, puesta a disposición 2010-06-17, estado vigente, último ingreso 20 de marzo de 2015, último ingreso 11 de febrero de 2015, http://www.itu.int/dms_pub/itu-r/oth/0B/06/ROB060000140002PDFS.pdf.
- [8] Rábanos, José. (1998). TRANSMISIÓN POR RADIO. Madrid: Editorial Centro de Estudios Ramón Areces S.A. Primera Edición.
- [9] Plan Nacional de Frecuencias Ecuador (2012). Secretaria Nacional de Telecomunicaciones. Dirección de Gestión de Espectro Radioeléctrico, último ingreso 17 de febrero de 2015, http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/plan_nacional_frecuencias_2012.pdf.
- [10] Reglamento para la Explotación de los Sistemas Troncalizados (2000). Resolución del CONATEL 264. Registro oficial 139 de 11-ago-2000, última modificación 19-oct-2010, estado vigente.
- [11] Tomasi, Wayne. (2003). SISTEMAS DE COMUNICACIONES ELECTRÓNICAS. México: Editorial Prentice Hall. Cuarta Edición.
- [12] Jaramillo, Edgar. (2014). SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES ROIP (RADIO OVER IP) CON LA FUNCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS ANALÓGICAS y DIGITALES PARA MEJORAR LA COMUNICACIÓN ENTRE LOS RADIOAFICIONADOS DEL ECUADOR. Tesis Sistemas. Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador.
- [13] Castro, A. (2007). Estudio y evaluación de técnicas FEC para la recuperación frente a errores. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España. Página Web, último ingreso 10 de marzo de 2015, <http://www.grc.upv.es/docencia/tdm/trabajos2007/tdm-ubal.pdf>.

- [14] Znaty, S., Dauphin, J., Geldwerth, R. (2005). Tutorial SIP: Session Initiation Protocol. Effort. Página Web, último ingreso 12 de marzo de 2015, http://efort.com/media_pdf/SIP_ESP.pdf.
- [15] España, M. (2003). SERVICIOS AVANZADOS DE TELECOMUNICACIÓN. Madrid: Ediciones Díaz de Santos S.A.
- [16] Obando, Alex. (2010). DISEÑO INTEGRAL DE UNA RED DE RADIO SOBRE IP PARA LA COMPAÑÍA WEGA MINING ECUADOR S.A. Tesis Electrónica y Telecomunicaciones. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- [17] Cruz, Henry. (2007). ESTUDIO PARA EL DESARROLLO DE LA INTEGRACIÓN DE LAS COMUNICACIONES EN LA FUERZA TERRESTRE. Tesis Electrónica y Telecomunicaciones. Escuela Politécnica del Ejército. Sangolquí, Ecuador.
- [18] Cueva, Darwin. (2009). AMPLIACIÓN DEL SISTEMA DE RADIO TRONCALIZADO DE COMUNICACIONES DE LA COMISIÓN DE TRÁNSITO DEL GUAYAS CON APLICACIÓN DE TECNOLOGÍA DIGITAL (PHD). Tesis Electrónica y Telecomunicaciones. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- [19] Bustillos, E. Guanin, C. (2011). IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RADIO FRECUENCIA CON VOIP BAJO SOFTWARE LIBRE PARA EL CONSEJO PROVINCIAL DE CHIMBORAZO. Tesis Sistemas Informáticos. Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Quito, Ecuador.
- [20] Recomendación H.323 (2009). *SERIES H: AUDIOVISUAL AND MULTIMEDIA SYSTEMS, Packet-based multimedia communications systems*. Recomendación del Sector de Normalización de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, puesta a disposición 2010-07-07, estado vigente, último ingreso 20 de marzo de 2015, último ingreso 20 de marzo de 2015, <http://www.itu.int/rec/T-REC-H.323-200912-I/es>.

Anexos:

1. Manual de usuario del Router "HG531 V1 300Mbps Wireless ADSL2+ Router".
2. *Datasheet* del teléfono IP "Grandstream GXP1400/1405".
3. Manual de usuario del equipo "Cross-Network Gateway", modelo RoIP102.
4. Manual de Instalación de la Radio Base "ASTRO XTL 1500 DIGITAL MOBILE RADIO".
5. Guía de Usuario del equipo terminal Handy "ASTRO XTS 1500 DIGITAL PORTABLE RADIO".